

SORVAUSSOLUN ROBOTIN UUSIMINEN



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Valkeakoski, kevät 2017

Petri Koskela

Petri Koskela

Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Valkeakoski

Tekijä	Petri Koskela	Vuosi 2017
Työn nimi	Sorvaussolun robotin uusiminen	
Työn ohjaaja /t	Antti Aimo	

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli saada tietoa automaation ja robotiikan mahdollisuuksista sekä hankinta- ja ylläpitokustannuksista konepajateollisuudessa toimivalle Komas Oy:lle. Opinnäytetyössä esitellään lyhyesti konepaja-automaatiota ja robotiikan rakennetta sekä vertaillaan robotiikan hyötyjä että haittoja. Työssä käsitellään myös robotiikan tulevaisuuden näkymiä, jotka tulevat muuttamaan ihmisten työtapoja tulevaisuudessa.

Konepajateollisuuden täytyy uskaltaa panostaa automaatioon tulevaisuudessa, jotta osaaminen säilyy Suomessa. Nyt on uhkana, että kaikki osaaminen häviää ulkomaille kun esimerkiksi robotiikan osaamiseen ei löydy tarpeeksi osaajia. Tämän takia yrityksen pitäisi nyt valmistautua kouluttamaan työntekijöitä tulevaisuuden haasteisiin ennen kuin on liian myöhäistä.

Uusien tekniikoiden kehittyessä koko ajan kovaa vauhtia oli tärkeää saada mahdollisimman tarkkaa tietoa automaation ja robotisoinnin tuomista mahdollisuuksista. Joustavan konepaja-automaation merkitys teollisuusolosuhteissa on kiistaton. Se muuttaa ihmisten työtapoja helpommaksi ja kevyemmäksi sekä robotiikka auttaa ihmisiä muun muassa raskaissa kappaleiden siirroissa.

Robotiikan hankinnassa kannattaa pitää mielessä eri vaihtoehdot. Aina ei yrityksen kannalta ole kannattavaa hankkia uutta robottia, jolloin hyväksi vaihtoehdoksi käy tehdaskunnostettu robotti, joka on 20 % - 35 % uutta robottia halvempi. Se on täysin käytöltään uutta vastaavaa. Robotin investoinnin osalta jäysteenpoistosolun robotisointi tulee toteutumaan lähiaikoina.

Avainsanat Automaatio, hankintakustannukset, robotiikka, sorvaussolu.

Sivut 45 sivua, joista liitteitä 2 sivua

Degree Programme in Automation Engineering
Valkeakoski

Author	Petri Koskela	Year 2017
Subject	Modernization of the turning cell robot	
Supervisors	Antti Aimo	

ABSTRACT

The subject of this thesis was to gain information on the possibilities of automation and robotics as well as on the acquisition and maintenance costs of these for Komax Oy, a company which operates in the field of mechanical engineering. This thesis briefly introduces engineering automation as well as the structure of robotics and compares the advantages and disadvantages of robotics. The thesis also discusses the future of robotics that will change the working methods in the future.

Of the Mechanical engineering industry will have to invest in automation in the future so that knowledge will remain in Finland. It is a threat for the country all knowhow disappears abroad because there are no skilled people for example in robotics. Therefore, companies should get prepared and train employees for future challenges before it is too late.

Since new technologies are evolving fast all the time, it has become important to explore accurate information on the possibilities of automation and robotics. The importance of flexible engineering automation in industrial circumstances is undisputed. It makes working methods easier and lighter and robotics helps people, among other things, to move heavy parts.

It is worth bearing in mind the different possibilities when investing in robotics. It is not always profitable to acquire a new robot; a good alternative is to get a renovated robot, which is 20 % - 35 % cheaper than a new one and works just like a new robot. As far as investing in robots is concerned, robotization of the deburring cell will be realized in the near future.

Keywords Acquisition costs, automation, robotics, turning cell.

Pages 45 pages including appendices 2 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY	2
3	KONEPAJA-AUTOMAATIO.....	2
3.1	FMS-teknologia	3
3.1.1	Joustava automaattinen tuotantoyksikkö (FMU).....	4
3.1.2	Joustava automaattinen tuotantosolu (FMC)	5
3.1.3	Joustava automaattinen tuotantojärjestelmä (FMS)	6
3.2	Joustava konepaja-automaatio	6
3.3	Konepaja-automaation tulevaisuuden näkymät.....	7
4	ROBOTIIKKA	8
4.1	Robottiikan historiaa	9
4.2	Teollisuusrobotit nykypäivänä	11
4.3	Teollisuusrobottien käyttökohteet	14
4.3.1	Jäysteenpoiston robotisointi	15
4.3.2	Jäysteenpoiston työkalut.....	16
4.4	Teollisuusrobottien hyödyt ja haitat	19
5	TEOLLISUUSROBOTTIEN RAKENNE.....	19
5.1	Robottityypit	21
5.1.1	Suorakulmainen robotti	21
5.1.2	Scara-robotit.....	22
5.1.3	Kiertyväniveliset robotit	23
5.1.4	Sylinterirobotit.....	24
5.2	Robotin ohjelmoinnin perusteet.....	25
6	ROBOTIN INVESTOINTI	26
6.1	Robotin hankinta- ja ylläpitokustannukset	27
6.2	Robotin kilpailutus	28
6.2.1	Robottimallit.....	29
6.2.2	Tarraimet	33
6.3	Tehdaskunnostetturobotti	34
7	TEOLLISUUSROBOTIN TURVALLISUUS.....	35
8	ROBOTIIKAN TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	38
9	YHTEENVETO.....	40
	LÄHTEET	42
Liite 1	Esimerkkiohjelma	
Liite 2	Robotin kinematiikkalaskentaa	

1 JOHDANTO

Automaatiolla on suuri merkitys myös konepajoissa nykypäivän teknologiamailmassa. Konepaja-automaatio kehittyy hurjaa vauhtia vuosi vuodelta. Yritysten täytyy olla valmiita uusiutumaan ja kehittymään pysyäkseen kovassa kilpailussa mukana. Tuotteiden erinomaista laatua ja alhaisia kustannuksia ei luokitella kilpailuvalteiksi vaan ne ovat yrityksen menestymisen kannalta tärkein osa-alue mihin panostetaan jatkuvasti. Automaation ja robotiikan ansiosta konepajat ovat pystyneet tehostamaan ja nopeuttamaan tuotteen toimitusaikaa.

Robotiikka tulee näyttämään vielä suurempaa roolia tulevaisuudessa, mitä se tänä päivänä on. Se näkyy konepajateollisuudessa, joka on suuren murroksen ja muutoksen edessä lähitulevaisuudessa. Robotisoinnin ansiosta tuotantomäärät, laatu ja asiakastyytyväisyys ovat parantuneet huomattavasti konepajateollisuudessa. Se näkyy esim. tuotteiden toimitusvarmuutena ja vähäisinä reklamaatioina.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään konepajateollisuudessa toimivalle Kommas Oy:lle robotin investointiin ja hankintaan liittyviä asiakokonaisuuksia sekä pyritään selvittämään konepaja-automaation ja robotiikan tuomia mahdollisuuksia konepajateollisuudessa.

Opinnäytetyössä käsitellään lyhyesti konepaja-automaatiota ja robotiikan perusteita sekä robottisolun rakennetta tehokkaassa tuotantoautomaatiossa. Työssä esitellään myös ABB:n robotin tekniikkaa, johon päädyttiin investoinnin tuloksena.

Opinnäytetyö joudutaan rajamaan kolmen robotin investoinnin sijaan kahden robottiin ja käyttöönotto jätetään myös opinnäytetyön ulkopuolelle.

2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY

Komas Oy on Keski-Suomessa toimiva sopimusvalmistaja konepaja, joka keskittyy konepajateollisuuden laadukkaaseen ja kokonaiskustannuksiltaan kilpailukykyiseen valmistukseen ja joustavaan palveluun. Tämä näkyy yhtiössä erikoisosaamisena, jolla on paljon tietotaitoa ja sen ansiosta yhtiö on laajentunut laajalle alueelle Suomessa. Tällä tavalla yritys pystyy keskitämään erityisosaamista eri yksiköihin ja palvelemaan asiakkaita nopeammin ja laadukkaammin. (Komas Oy 2017.)

Päätoimipiste sijaitsee Jyväskylässä ja siellä toimivat koneistukseen ja hydraulikkaan erikoistuneet yksiköt. Yhtiöön kuuluvat myös yksiköt Kurikasta, jonka osaamisala on koneistus sekä levytakomo Laukaassa. Koko organisaatiossa työskentelee 350 henkilöä, joista 200 henkilöä työskentelee Jyväskylässä. Tulevaisuudessa yhtiö laajentuu Härmään ja Sastamalaan. Yrityksen pääomistaja on Capman Oy (Komas Oy 2017.)

Komasin historia ulottuu vuoteen 1925 ollessaan nimellä Valtion kivääritehdas. Nimi on vuosienkymmenien aikana muuttunut muutamia kertoja. Komas Oy:n nimi vakiintui yrityksen nimeksi vuonna 2012. (Komas Oy 2017.)

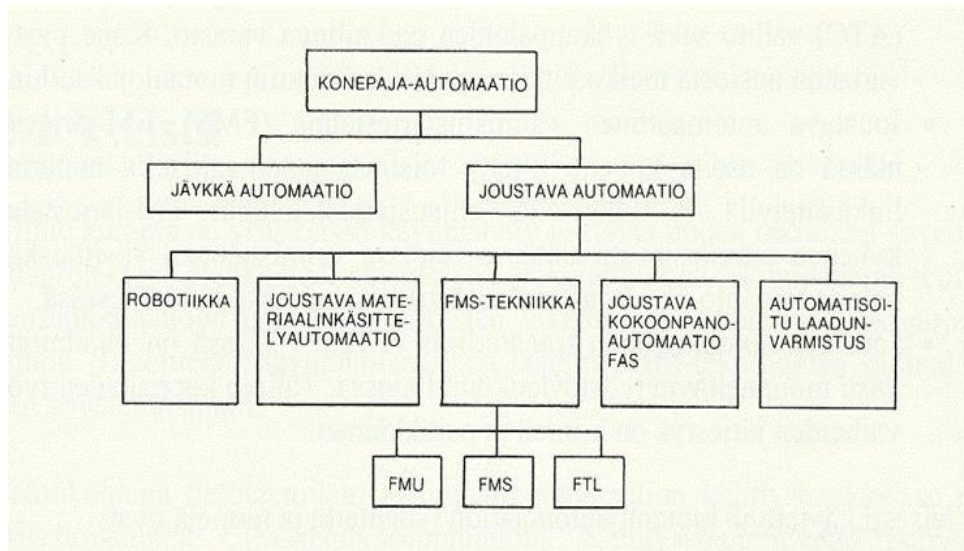
3 KONEPAJA-AUTOMAATIO

Konepaja-automaation on historian aikana saavuttanut muutamia merkittäviä merkkipaaluja. Alkunsa se sai 1700-luvun lopulla Englannissa höyryvoimana ja sata vuotta myöhemmin sähkövoima antoi uusia edellytyksiä. Joustavan tuotantoautomaation voidaan katsoa syntyneeksi 1950-luvulla, jolloin tietotekniikka alkoi kehittyä. (Aaltonen, Airila, Andersin & Ekman 1992, 21.)

Konepajateollisuuden automaation kehitys ajoittuu 1800-luvun lopulle käsitöläisaikaan. Sarjatuotannon aikakausi alkoi 1900-luvun alussa keskittyen jäykkään automaatioon. Jäykkä automaatio perustui mekaanisiin ratkaisuihin, jolloin automaattisorveille kehitettiin hydraulinen ohjausjärjestelmä vuonna 1897. Jäykän automaation käytön tehokkuus on nykypäivänä harvinaista. Tehokkuus ei ole varsinaisesti hävinnyt, mutta siihen ei enää uskalleta panostaa, koska linjastojen muuttaminen uusien tuotteiden valmistukseen soveltuvaksi ei ole taloudellisesti kannattavaa. (Aaltonen ym. 1992, 22.)

Konepajateollisuuden suuri mullistus tapahtui 1950-luvulla. Ensimmäinen numeerinen työstökone kehitettiin vuonna 1952 Yhdysvalloissa Massachusettsissa. Tätä työstökonetta käytettiin vuosia lentokoneiden osien valmistukseen ilmavoimissa. Tämän kehitystyön tuloksena oli numeerinen ohjaus, jolla pystyttiin siirtää työkalua monimutkaista liikerataa pitkin, yhtäaikaisesti kolmen tai useamman akselin suhteen. Numeerinen ohjaus on vielä tänäkin päivänä voimissaan konepajateollisuudessa. Etenkin pienillä kappalemäärillä ja joustavuutensa ansiosta numeerinen ohjaus on näyttänyt soveltuvan erinomaisesti konepajateollisuuden käyttöön. Numeerisen ohjauksen ansiosta suorituskkyky ja muistikapasiteetti monikertaistuivat sekä luotettavuus parani huomattavasti. (Aaltonen ym. 1992, 22–23.)

Tulevaisuudessa konepajateollisuus täytyy pystyä vastaamaan kiristyvässä kilpailussa tuleviin haasteisiin. Tämä edellyttää tuotannon valmistuksen automatisointia. Koneet ja laitteet pyritään kehittämään laajemmiksi kokonaisuuksiksi tietotekniikan avulla. Tästä teknologista syntyi ns. joustava tuotantojärjestelmä, josta puhutaan tutummin FMS-teknologiasta. (Maaranen 2012, 450.)



Kuva 1. Konepaja-automaation jaottelu (Maaranen 2012.)

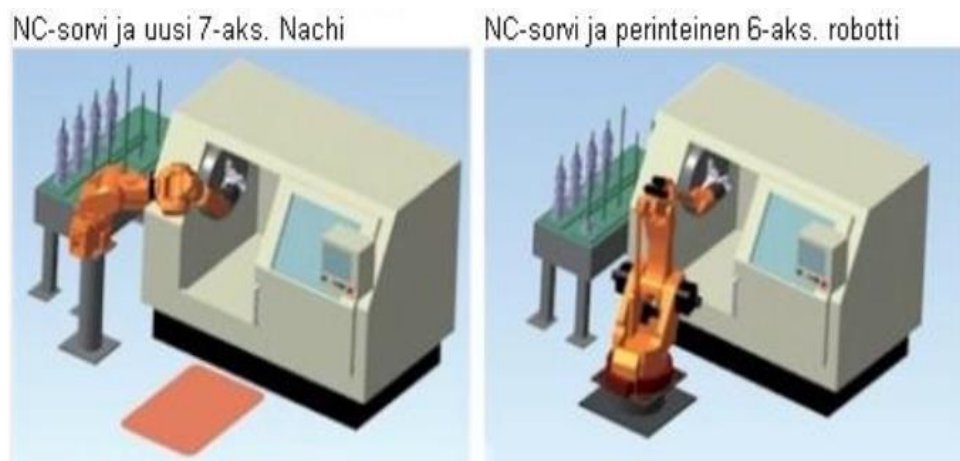
3.1 FMS-teknologia

Konepaja-automaatio jaetaan usein FMS-teknologiaan eli joustaviin tuotantojärjestelmiin, robotiikkaan ja materiaalinkäsittelyautomaatioon. Useimmiten siihen liitetään mukaan kokoonpano- ja laadunvarmistusautomaatioon, kuten kuvassa 1. nähdään. FMS-teknologilla on käytännössä suuria etuja, joista esitellään tässä tärkeimmät:

- FMS-järjestelmällä pystytään jopa miehittämättömään ajoon tuotannossa.

- Työvaiheet ovat kokonaisuudessaan automatisoitu työkappaleiden siirtelystä kappaleen vaihtajaan.
- FMS-järjestelmässä mukana voi olla useita kymmeniä NC-työstökoneita.
- Työkappalevalikoimassa voi olla jopa useita satoja erilaisia työkappaleita, joiden valmistusmäärät poikkeavat toisistaan.
- FMS-järjestelmä pystyy sopeutumaan nopeasti muuttuviin tilanteisiin.
- Järjestelmä voidaan laajentaa nopeasti muuttuvassa maailmassa eli useiden koneiden liitäntä mahdollisuus on joustavaa. (Maaranen 2012.)

FMS-järjestelmän ansiosta koneiden ja laitteiden laajentaminen on joustavaa, jolloin voidaan palvella asiakkaita nopeasti ja laadukkaasti. Automaation lisääntyessä myös NC-työstökoneet ovat automatisoituneet viimeisten vuosien aikana. Kuvassa 2. nähdään, miten NC-sorvien avuksi asennetaan robotteja tekemään sarjatuotantoa. Robotti voidaan asentaa myös sivulle, jolloin koneenkäyttäjä vapautuu huolehtimaan koneen kunnosta ja laitteiden valvonnasta. (Maaranen 2012.)



Kuva 2. NC-sorvi ja robotti (Finnrobotics Oy 2009.)

FMS-teknologian soveltaminen konepajateollisuudessa voidaan aloittaa hyvinkin pienestä solusta, yhden työstökoneen yksiköstä aina joustavaksi automaattiseksi tehtaaksi asti. FMS-teknologia käsittelee eritasoisia työstökonejärjestelmiä konepajateollisuudessa. Ne ovat jaoteltu neljään eritasoon. (Maaranen 2012.)

3.1.1 Joustava automaattinen tuotantoyksikkö (FMU)

Joustavan konepaja-automaation perusyksikkö on FMU. Valmistusyksikön rakenne koostuu yleensä NC-työstökoneesta ja automaattisesta valvontalaitteesta sekä työkalu- ja terävaihtajasta, joka mahdollistaa tarvittaessa

miehittämättömät ajot tuotannossa. Useimmiten NC-työstökoneen apuna toimii robotti, joka hoitaa viimeistelytyöt työstettävistä kappaleista. Kuvassa 3. robotti hoitaa raskaammat työt ja asettaa työstettävät aihiot linjastolle sekä nostaa valmiit kappaleet lavalle. (Maaranen 2012.)



Kuva 3. FMU-tuotantoyksikkö (Ristikaarto 2011.)

3.1.2 Joustava automaattinen tuotantosolu (FMC)

Joustava automaattinen tuotantosolu on lähes vastaavanlainen kuin FMU-tuotantoyksikkö, mutta tuotantosoluun on sijoitettu useampi laite robottien tueksi esimerkiksi sorvi, palettijärjestelmä ja kuljettimet, kuten kuvassa 4. nähdään. Tämän kaltaisissa tuotantosoluissa tuote saadaan valmistettua alusta loppuun valmiiksi. (Maaranen 2012.)



Kuva 4. Täysautomaattinen FMC-tuotantosolu (Konekuriiri 2017.)

3.1.3 Joustava automaattinen tuotantojärjestelmä (FMS)

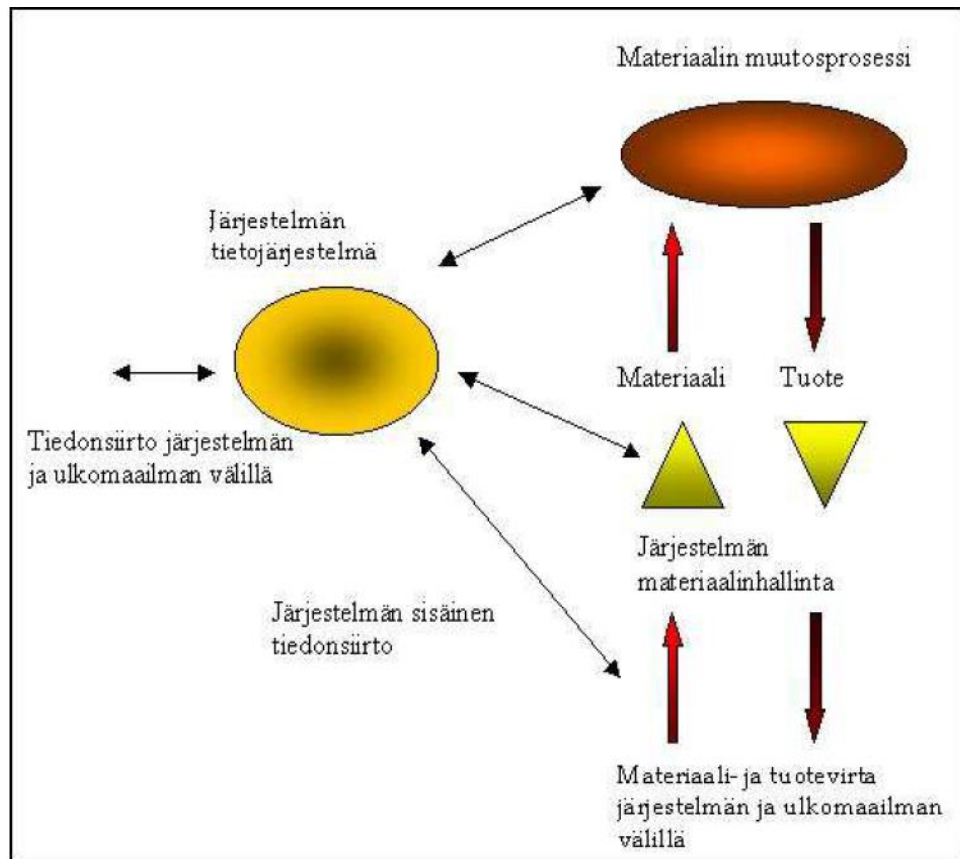
Joustavan automaattisen tuotantoyksikön suuria etuja on niiden kätevyys yhdistää muita järjestelmiä, koneita ja laitteita. Joustavan automaattinen tuotanto yksikkö voidaan laajentaa tarvittaessa kokonaiseksi tuotantojärjestelmäksi. Koneiden ja laitteiden lisäksi järjestelmään voidaan liittää materiaalikäsittelyjärjestelmä ja keskusohjaus. Lisäksi järjestelmään voidaan liittää palettien kuljettimet siirtovaunusta, koneistettujen kappaleiden pesukone ja usein tähän kokonaisuuteen on liitetty robotti tekemään raskaat nostot ja siirrot palettivaunuihin. Tästä edelleen muunneltaessa joustavaa tuotantojärjestelmää saadaan eri konejärjestelmistä ja automaattisista laitteista joustava automaattinen tehdas (FMF). Automaattinen tehdas on jo tietokonejärjestelmineen linkitettyä yritysjohdon järjestelmiin. (Maaranen 2012.) Kuvassa 5. nähdään, kuinka kokoonpanoa palveleva tuotantojärjestelmä on liitetty FMS-järjestelmään.



Kuva 5. FMS-järjestelmä (promaintlehti 2015.)

3.2 Joustava konepaja-automaatio

Joustavan konepaja-automaation tarkoitus on kehittää tuotteiden valmistusmenetelmiä. Koska konepajoissa tapahtuva tuotanto on suurelta osin sarjaluontoista niin pien- ja suursarjatuotannon välistä eroa on pyritty kaventamaan joustavalla konepaja-automaatiolla. Tämä merkitsee tuotannon kannalta sitä, että tuotekehitys on nopeatempoisempaa ja tuotteilta vaaditaan entistä enemmän erikoisominaisuuksia, niin tuotannon joustavuus merkitsee lyhyttä valmistus aikaa valmiiseen tuotteeseen. Näin voidaan huomioida asiakkaiden tarpeet hintakilpailussa. Kuvassa 6. nähdään joustavan tuotantoautomaation prosessin eteneminen konepajateollisuudessa. (Kotiranta 2012.)



Kuva 6. Joustavan tuotantoautomaation määrittely (Kotiranta 2012.)

Joustavan automaation perimmäinen tarkoitus on tehostaa tuotantoa ja karsia tuotantokustannuksia. Tuotannon investointien on kuitenkin oltava kannattavia ja se vaatii paljon suunnittelua ja laskemista. Tähän perustuu FM-järjestelmien kehityksen suunnittelu. Vaikka joustavien tuotantojärjestelmien käyttö lisääntyy jatkuvasti, niin se ei vähennä ihmisen tekemää työtä, vain työtavat muuttuvat erilaisiksi. Työntekijät tarvitsevat lisää koulutusta, koska työn laatu muuttuu ammatillisesti haastavammaksi. (Maaranen 2012.)

3.3 Konepaja-automaation tulevaisuuden näkymät

Kone- ja metalliteollisuudessa eletään jännittäviä aikoja. Konepajateollisuuden menestyksen varmistamiseksi on onneksi tarjolla erilaisia ratkaisuja tulevaisuuden varalta. Hyvinä vaihtoehtoina pidetään tuotannon automatisointia ja robotiikkaa. Parhaaseen tulokseen päästään, kun automatisoidaan kokonaisia tehdaslinjastoja. Tällä tavalla saadaan analysoitua parhaat tulokset automaation hyödyistä. (Katajainen 2016.)

Teknologian kehittyessä kokoajan älykkäämpää suuntaan, niin 3D-tulostus on oiva esimerkki uudistuvasta tekniikasta konepajateollisuudessa. Se mahdollistaa vaikean kappaleen osien valmistuksen yhtenä kappaleena,

jonka ansiosta materiaalihävikki on vähäisempi. Digitalisaatio taas mahdollistaa prosessin valvonnan ajasta ja paikasta riippumatta koneisiin asennettujen antureiden ansiosta. Jotta digitalisaatiosta saataisiin paras hyöty irti, täytyisi osata hyödyntää saadut tiedot määritetystä datasta. (Katajainen 2016.)

Tuotannon kehittämisen ohella on verkostoituminen yksi tapa varmistaa yrityksen kilpailukyky. Teknisempi ratkaisu on kehittää tuotannonsuunnittelua, automatisointia ja tuotannonohjausjärjestelmää, jonka avulla minimoidaan tuotannon seisokkiajat. Näillä toimilla on pitkäaikainen vaikutus yrityksen toiminnan kehittämiseen ja parempaan tuottavuuteen. Suurimmat haasteet tulevaisuudessa ovat kuitenkin yrityskulttuurissamme, jota täytyy parantaa hyvin pian. Nyt on toiminnan aika. (Katajainen 2016.)

4 ROBOTIIKKA

Konepaja-automaatio ja robotiikka liittyvät toisiinsa hyvinkin paljon. Yleisesti ottaen ainoana erona voidaan pitää numeerisesti ohjattuja NC-työstökoneita konepaja-automaatiossa.

Roboteista muodostunut mielikuva saattaa olla peräisin tieteiskirjoista tai elokuvateollisuuden luomaa harhaa. Vaikka elokuvateollisuuden ja tieteiskirjojen robotit ovat muokanneet älykkyydellään ihmisten ajatuksia ja käsityksiä roboteista, niin todellisuudessa robottien käytön soveltaminen eroaa erittäin paljon elokuvien maailmasta. (Kuivanen 1999.)

Robotiikka on kehittynyt nopeasti ja robotit ovat tulleet ihmisille arkipäiväisemmiksi mm. palvelurobotiikan ansiosta. Valtaosa roboteista on kuitenkin suunniteltu teollisuuden tarpeisiin. Automatisointi ja robotisointi ovat osa yrityksen toimintaa, ja ilman robotiikkaa saattaa monen yrityksen kilpailukyky huonontua merkittävästi kansainvälisessä kilpailussa. Robotisointia suunnitellessa tärkein muuttuja on kuitenkin ihminen. Ihminen tekee kaiken olennaisen työn mm. suunnittelevat järjestelmät, huoltaa, ohjelmoi laitteet ja pitää huolta kunnossapidosta. (Kuivanen 1999.)

Konepajateollisuudessa robotiikan osuus erityisesti korostuu kappaleenkäsittelyn automaatiosovelluksissa. Aikaisemmin käytettiin mekaanisia, hydraulisia ja pneumaattisia toimilaitteita, joita rakennettiin sovelluskohtaisiksi. Tällöin asetusten teko kesti päiviä tai niitä ei voinut tehdä ilman laitteiden täydellistä uusimista. Tyypillisimmät robotisoinnin kohteet olivat koneiden panostus, kappaleiden siirrot ja valmiiden tuotteiden purku koneesta. Nämä ratkaisut soveltuivat erityisen hyvin suurten sarjojen valmistukseen. Tuotannossa valmistettiin tavallisesti vakiotuotteita varastoon. Vaatimukset tuotannon joustavuudesta kasvoivat piensarjojen yleistyessä.

Tällöin tuotantoautomaatiossa otettiin käyttöön ohjelmallisesti muunneltavat toimi- ja kappaleenkäsittelylaitteet. (Aaltonen ym. 1992.)

Servo-ohjatut robotit olivat ideaali ratkaisu piensarjatuotannon kappaleenkäsittely ongelmiin. Robottisovellukset vastasivat joustavuudeltaan aikaisempia manipulaattori- ja toimilaitteautomatisointeja 1980- ja 1990-luvulla. Vielä 1990-luvun vaihteessa robottien hyödyntäminen piensarjatuotannossa oli vaikeaa, sillä robottien ohjelmointi oli vaikeaa ja työlästä. Robottien ohjelmointi on kehittynyt valtavasti omien ohjelmointikielien ja sovellusten ansiosta esim. etäohjelmointi, jotka helpottavat ja nopeuttavat robottien ohjelmien tekoa. Nykyään robottien käyttövarmuus ja luotettavuus on erinomaisella tasolla. Robotteihin liitetyt anturit mahdollistavat älykkäiden, ympäristöön muutoksiin automaattisesti sopeutuvien robottien käytön entistä vaativimmissa sovelluksissa. (Aaltonen ym.1992.)

Pienille- ja keskisuurille yrityksille robotisoidut tuotantosolut on erinomainen tapa saada tuotantoa tehokkaammaksi ja nopeammaksi. Joustavaa tuotantoautomaatiota robotein toteutettujen automaattiosaarekkeiden ja robottisolujen kytkeminen osaksi konepajan tuotantojärjestelmää edellyttää hyvää automaation suunnittelua ja toteutusta. Konepajateollisuudelle tämä investointi kannattaa, koska se mahdollistaa lyhyiden ja vaihtelevien nopeaan valmistamiseen. (Aaltonen ym.1992.)

4.1 Robottiikan historiaa

Robottiikan historia ajoittuu 1920-luvulle, jolloin tshekkiläinen näytelmäkirjailija Karel Capek otti ensimmäisenä käyttöön termin robotti. Tshekkiläinen termi robota tarkoittaa tehdä työtä pakosta. Varsinaisesti tämän verbaalisen termin takana on Karelin veli Josef. Hän käänsi robotti-sanan näin, ”keinotekoinen koneihminen, joka tekee mekaanista työtä”. Näytelmisään Capek usein kehitti robotin ominaisuuksia kuvaamaan keinotekoisia työntekijää, palvelijaa ihmisille, joka tekee raskaat ja vaaralliset työt. Teollisuudessa käytettävässä käsivarsirobotissa on pyritty saamaan aikaiseksi samanlaiset toiminnot kuten ihmisen kädellä. (Aaltonen ym. 1992.)

Scifi-kirjailija Isaac Asimovin robotisointikertomukset ovat peräisin 1930-luvulta. Robotit ovatkin olleet kautta aikojen suosittuja tieteiskirjallisuuden aiheita. Robottiikka-sanankeski lähes vahingossa kirjailija Asimov itse vuonna 1942. Hän käytti sanaa ensimmäisenä sanaa robotiikka (robotics) kuvaamaan robottiteknologiaa vaikka luuli sanan olleen jo käytössä aiemmin. Asimovin kertomuksissa robotit olivat ihmisten palvelijoita kaikissa olosuhteissa ja niiden piti kestää toimintakuntansa olosuhteista riippumatta. Ehdoton edellytys oli, että robotit eivät saa vahingoittaa ihmistä. (Aaltonen ym. 1992.)

Joseph Engelberg kehitti ensimmäisen teollisuusrobotin vuonna 1953. George C. Devol Jr. kehitti kappaleiden siirtolaitteen vuonna 1954. Maailman ensimmäisen robottiyhtiön perustivat Engelberg ja Devol Jr. vuonna

1956 cocktail-kutsuilla. Tämä kaksikko sai aikaan Unimation yhtiön rungon ja ensimmäinen kaupalliseen käyttöön tarkoitettu robotti tuli teollisuuteen vuonna 1962. Ensimmäinen servorobotti saapui Suomeen Strömberg Oy:lle vuonna 1971 ja ensimmäinen sähköinen servorobotti tuli Suomeen tutkimuskäyttöön TKK:lle vuonna 1975. Ensimmäiset kappaletavara- ja konepajateollisuuteen tarkoitetut käsivarsirobotit olivat aikansa yleisimpiä robotteja, ne kehitettiin vuonna 1978. Tämän robottimallin tarkoitus oli pystyä toimimaan kaikissa olosuhteissa ja sovelluksissa, mutta pian huomattiin, että erilaisissa oloissa ja tiloissa sekä sovelluksissa tarvitaan erimallisia robotteja. (Tuunanen 2014.) Kuvassa 7. Ensimmäinen teollisuusrobotti, joka rakennettiin Yhdysvalloissa 1960-luvulla. (Jokelainen 2012.)



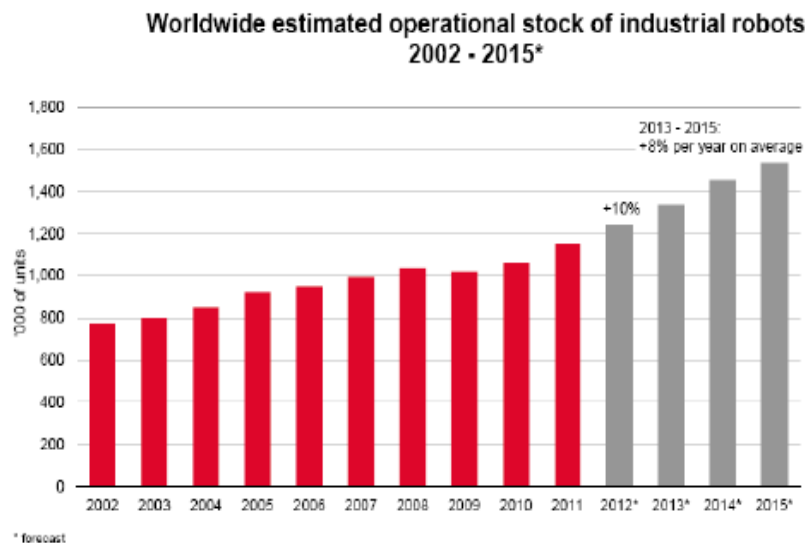
Kuva 7. Ensimmäinen teollisuusrobotti Unimation Inc. (Jokelainen 2012.)

Unimation sai uusia kilpailijoita robottimarkkinoille 1970-luvulla mm. Japanilaisia robotinvalmistajia ja ASEA (nykyään ABB). Teollisuusrobotit olivat kehityksensä huipussa 1990-luvun lopulla, jolloin käyttöön tulivat vaihtovirtaservomoottorit. Nykyään pyritään kehittämään joustavuutta, luotettavuutta ja tehokkuutta. (Jokelainen 2012.)

4.2 Teollisuusrobotit nykypäivänä

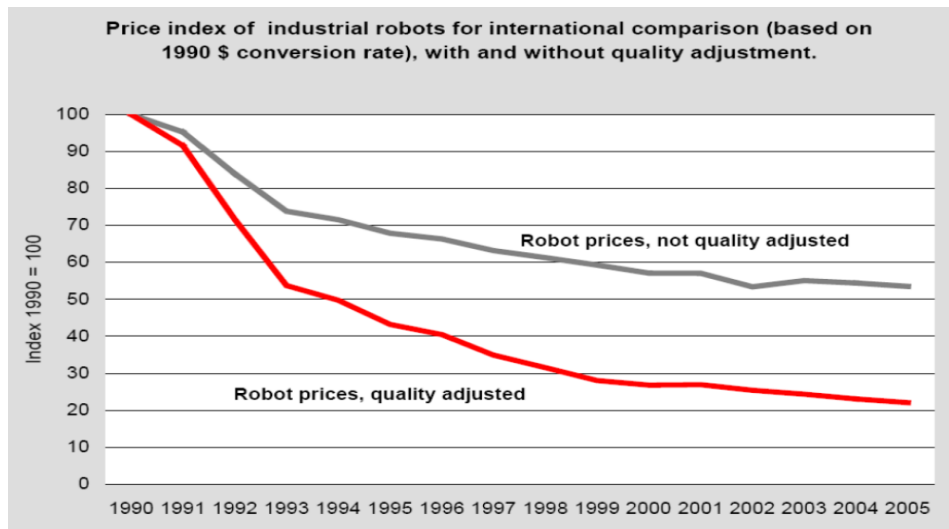
Teollisuusrobottien määrät ovat kovassa kasvussa maailmalla. Kun vielä 1980-luvulla maailmassa oli noin 8000 teollisuusrobottia, niin tänä päivänä robottien määrä on yli puolitoista miljoonaa robottia. Suurin kasvu robottien määrässä on nähty 1980- ja 1990-luvulla. Vuonna 1995 oli jo 650000 robottia maailmassa. Vuosittain uusia robotteja tulee käyttöön noin 100000 kappaletta. IFR:n (International Federation of Robotics) mukaan uusien käyttöönotettavien robottien määrä kasvaa vuosi vuodelta. Ennusteiden mukaan 15000000 robotin rajapyykki rikotaan vuonna 2015, kuten kuvasta 8. voidaan havaita. Maailman tärkeimmät ja suurimmat robottien valmistajia ovat Fanuc, ABB, Motoman, Kuka, Kawasaki, Toshiba ja Denso. (Jokelainen 2012.)

Robotiikkatilastoa



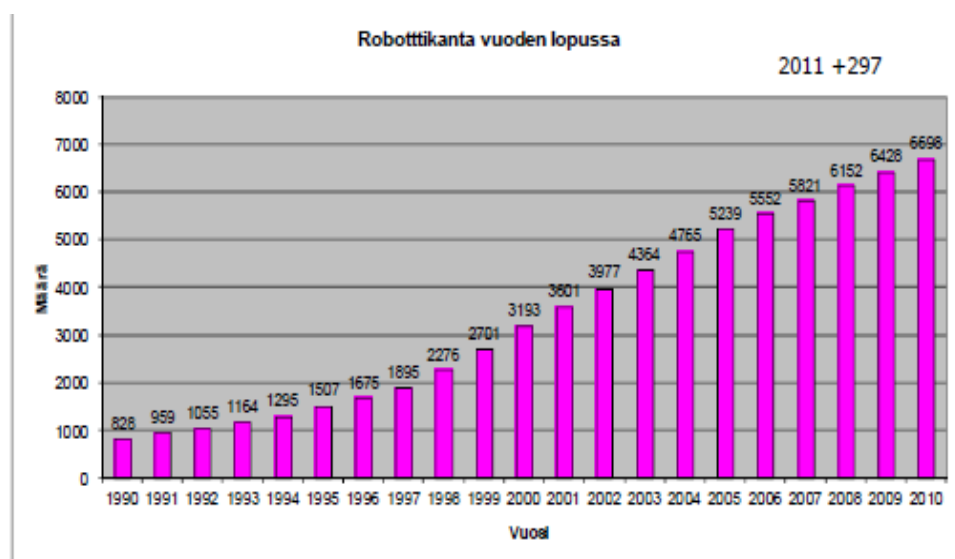
Kuva 8. Robotit 2000-luvulla (Jokelainen 2012.)

Teollisuusrobottien valmistusmäärät ovat suoraan verrannollisia robottien hintaan. Robottien kehityksen alkuaikoina hinnat olivat korkeat ja niitä käyttivät vakavaraiset yritykset. Robottien hintakehitys on ollut huimaa robottien tekniikan kehittymisen ansiosta. Hinnat ovat jopa puolittuneet 2000-luvulla mitä ne olivat 1990-luvulla. Kuvassa 9. nähdään, miten robottien hinnat ovat tulleet alas 1990-luvulta 2005-luvulle. (Tuunanen 2014.)

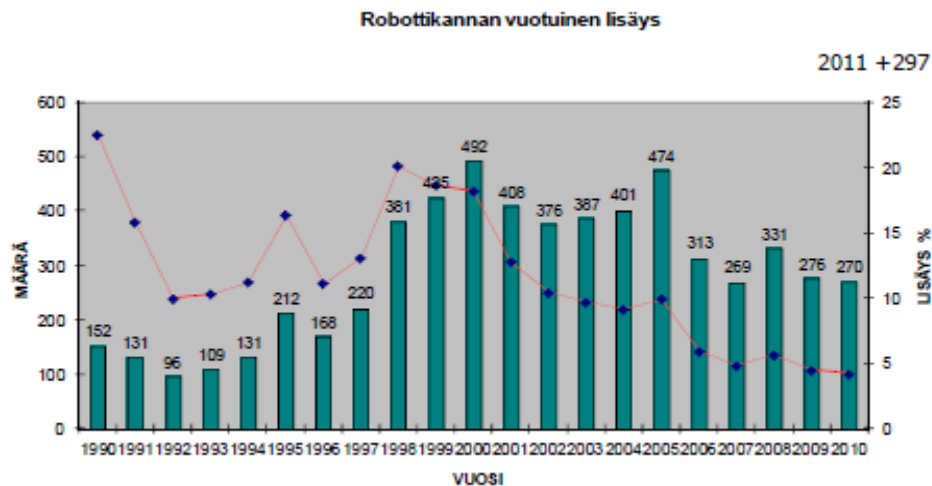


Kuva 9. Teollisuusrobottien hintakehitys (Tuunanen 2014.)

Robotiikan kehitys jatkaa kasvuaan nopealla tahdilla. Se näkyy maailmalla robottien määrän kasvuna, mutta Suomessa on tilanne päinvastainen. Teollisuusrobottien hankintamäärä on alkanut laskea tasaisesti vuosikymmenen vaihteessa. Suomi onkin pudonnut robotiikan hyödyntämisestä kärkikymmeniköstä, vaikka uusien robottien hankintamäärä on pudonnut ja vanhoja robotteja poistetaan käytöstä. Suomessa oli käytössä robotteja vajaat 7000 kappaletta 2010-luvun lopussa. Kuvassa 10. nähdään robottikannan kasvu Suomessa ja kuvassa 11. nähdään robottikannan hankintamäärien laskeminen vuosi tasolla. (Jokelainen 2012.)



Kuva 10. Robottikanta Suomessa 2010-luvun lopussa (Jokelainen 2012.)



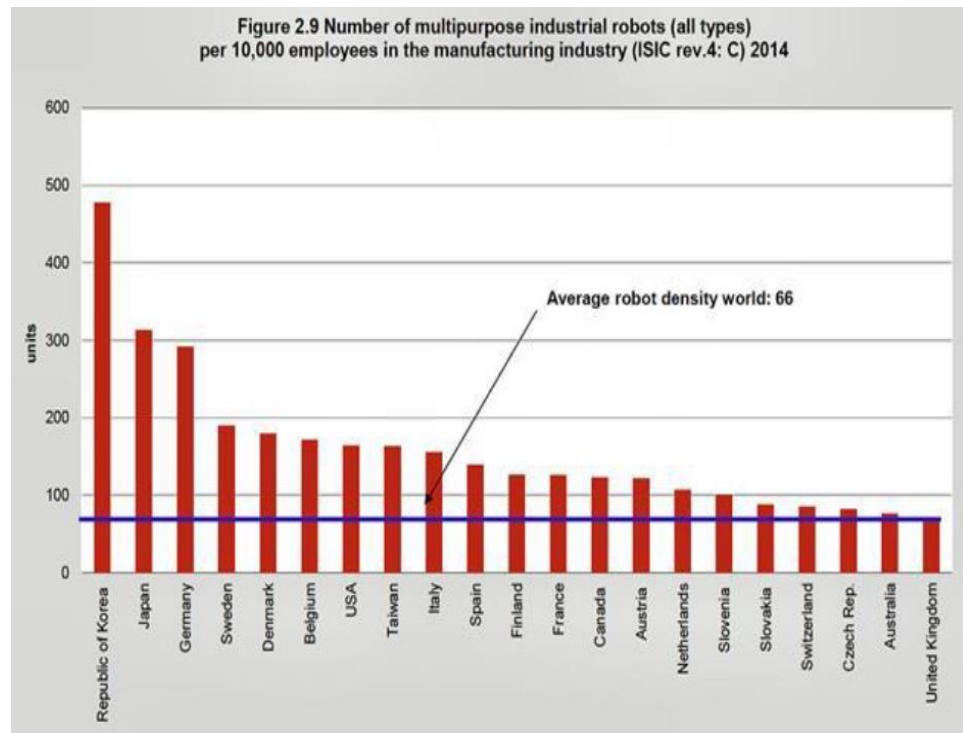
Kuva 11. Robottikannan vuotuinen kehitys 2010-luvun lopussa (Jokelainen 2012.)

Suomen tilanne robotti investointien osalta ei ole parantunut vuoden 2014 lopulla. Suomen tilanne jatkui edelleen heikkona ja asennettuja robotteja otettiin käyttöön 280 uutta teollisuusrobottia vuoden 2014 aikana. Edellisvuoteen verrattuna laskua tuli -23 % eli 85 robottia vähemmän. Toisaalta tämä tilanne oli odotettavissa, sillä Valmet Automotiven isot robottihankinnat Mercedes-tuotantoon näkyi 90 laitteen verran vuoden 2013 aikana. Suomen robottihankinnat on siis jämähtänyt 250 - 280 laitteen vuosi tasolle, joka ei kata robottien luonnollista poistumaa käytöstä. Teollisuusaloittain elintarviketeollisuus on edistynyt 30 robottiin ja kemianteollisuus yli 40 robottiin. Metalliteollisuudessa on synkemmät ajat. Erityisesti koneenpalvelutehtävät ovat pudonneet jopa 40 %. Mutta toisaalta taas konepajateollisuus sinnittelee n. 30 robotin investointivauhdissa vuosittain. Koulutussektorille investointi hankinnat ovat täysin pysähtyneet, ilmeisesti määrärahojen leikkausten ansiosta. (Lempiäinen 2015.)

Kansainvälisesti investoinnit etenevät kovassa myötätuulessa. Teollisuusmaissa investoinnit kasvavat +29 % vuosittain ja yltänevät 229000 käyttöönotettuun robottiin vuodessa. Erityisen voimakasta kasvua on havaittavissa Aasiassa. Kiinan ”Made in China 2025”ohjelma rohkaisee yrityksiä investoimaan robotiikkaan ja se näkyy suurena kasvuna tilastoissa. Joka neljäs robotti hankitaan Kiinaan ja seuraavana tilastoissa tulee Korean Tasavalta. Nykyään Kiina on jo kasvanut suurimmaksi robottimarkkina-alueeksi ja vuosiksi 2016 - 2018 ennustetaan maltillisempaa kasvua n. 15 % luokkaa. Euroopassa kasvua on n. 5 % luokkaa, mutta Saksa kasvaa tasaisesti robottihankinta tilastoissa 10 % luokkaa vuosittain. (Lempiäinen 2015.)

Jotain taloudessamme on vialla. Vaikka teollisuusrobottien määrä kasvaa maailmalla, niin on Suomi pudonnut robotiikan kärkikymmeniköstä. Suomi on pudonnut myös Pohjoismaiden kyydistä. Kuvassa 12. verrataan Suomen robottitiheyttä 126 laitetta 10000 teollisuustyöntekijää kohden Tanskan ja

Ruotsin kanssa, niin Tanskassa 608 laitetta, ja Ruotsissa 1073 laitetta robotin vuosittaisia investointeja. (Lempiäinen 2015.)



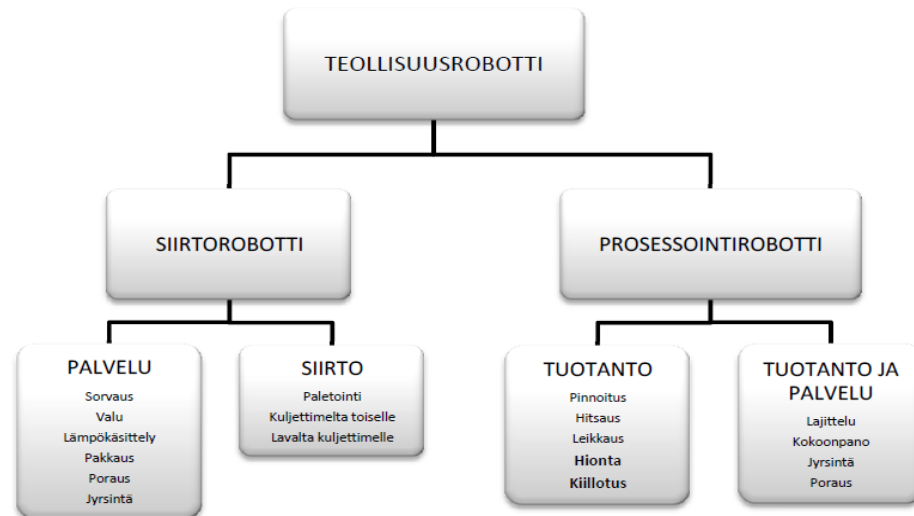
Kuva 12. Teollisuusrobottien määrä tuotantoteollisuudessa 2014 (Lempiäinen 2015.)

4.3 Teollisuusrobottien käyttökohteet

Teollisuusrobotteja käytetään nykyään paljon teollisuuden eri osa-alueilla. Suurimmaksi osaksi robotteja käytetään konepajateollisuudessa, autoteollisuudessa, elintarviketeollisuudessa. Konepajateollisuudessa hitsaus on tärkeä robotisoinnin kohde ja myöskin koneistuksessa robotisoinnin kohteita ovat kappaleiden siirrot ja metallin jäysteenpoistot. Voidaankin sanoa, että teollisuusrobottien tehtävät ovat jakautuneet siirto- ja prosessointitehtäviin. Yleisesti ottaen robotit pystyvät tasaisempaan laatuun kuin ihminen, koska robotin toistokyky pysyy aina samanlaisena. Muita erityisen tärkeitä tehtäviä ovat maalaaminen, hiominen, kaivertaminen ja erilaiset viimeistelyt kuten kiillottaminen. (Billing 2012.) Kuvassa 13. nähdään, kuinka laajalle osa-alueille teollisuusrobottien tehtävät ovat jakaantuneet.

Monilla teollisuuden aloilla robotiikan tarttumistekniikalla on suuri merkitys tarkassa kappaleenkäsittelyssä. Käsiteltävät kappaleet ovat erikokoisia ja muotoisia. Teollisuusrobottien pääasiallisena tehtävänä on elintarvike- ja lääketeollisuudessa on tuotteiden asettaminen ja siirtäminen laitteisiin. Myös pakkaaminen kuljetuslavaille ja niiden siirtäminen sekä purkaminen

ovat olennaisia tehtäviä teollisuusrobotiikalle. Elektroniikkateollisuudessa robotit suorittavat kokoonpanotehtäviä, aivan kuten konepajoilla ja metalliteollisuudessa, mutta käsiteltävät kappaleet ovat erikokoisia. Elektroniikkateollisuudessa roboteilta vaaditaan tarkempaa työskentelyotetta, koska käsiteltävät komponentit ovat paljon pienempiä. (Tuunanen 2014.)



Kuva 13. Teollisuusrobotiikan tehtäväkenttä (Kuivanen 1999.)

Robotiikan tekniikan kehittyessä jatkuvasti niiden tehtävät lisääntyvät vuosi vuodelta. Robotit sopivat joustavina ja monipuolisina laitteina nopeasti muuttuvaan tuotantoon. (Billing 2012.)

4.3.1 Jäysteenpoiston robotisointi

Materiaalinpoistolla tarkoitetaan robotilla tehtävää työstöä kuten valu-kappaleiden purseiden ja koneistuksessa syntyvien jäysteiden poistoa. Tämä on monissa konepajateollisuuden aloilla ongelmiana, kuten myös Komasa Oy:llä. Kappaleet täytyy saada joustavasti ja nopeasti viimeistelyä toimiviksi. Jäysteenpoisto yksi potentiaalisimmista aloista tehostaa tuotantoa. Jäysteenpoisto tehdään usein käsityönä. Työ raskasta, yksitoikkoista ja likaista, josta johtuen niska- ja hartiakivut ovat yleinen sairasloman syy. Robotisoinnin ansiosta työn tehokkuus voi nousta jopa 70 %, mikä on suurimpia tehokkuudenkasvuja robottisovelluksissa. (Billing 2012.)

Haasteelliseksi jäysteenpoiston tekee kappaleiden eri koot ja monimutkaiset reiät ja kierteitykset robotin paikoitukset suhteen. Vaihtelevissa tilanteissa ihminen on kuitenkin joustavampi kun taas robotin etuna on tasa-laatuisuus. (Billing 2012.)

Robotisoidulla viimeistelyllä saadaankin suurta etua jäysteenpoistossa, kuten kuvassa 14. nähdään jäysteenpoistosolu. Se vähentää terveyshaittoja,

pullonkauloja tuotannossa, työkalujen kulumista, parantaa tuottavuutta ja tasalaatuisuutta sekä vähentää viallisten kappaleiden määrää. Etenkin koneistuskeskuksilla tämä on tärkeää, jossa tarvitaan halvempia ja kevyempiä koneita kevyeen työstöön. Robotit ovat tässä ulottuvimpia kuin työstökoneet. Ainoa heikkous roboteilla on kevyt rakenne ja epätarkkuus, mutta ne antavat mahdollisuuden taloudellisesti tehokkaampaan tuotantoon. (Billing 2012.)



Kuva 14. Jäysteenpoistosolu (Koskela 2017.)

4.3.2 Jäysteenpoiston työkalut

Monet robotti valmistajat ovat kehittäneet varsin hyviä ja toimivia jäysteenpoistotyökaluja. Jäysteenpoistorobotin työkalua pyörittää kara moottori, työkalu ja työkalunpidin. Kuvassa 15. esitetään muutamia jäysteenpoistotyökaluja. Työkalut voidaan asentaa joko suoraan robotin työlaippaan tai kiinteästi robottisoluun, jolloin robotti käsittelee työkappaletta. (Billing 2012.)



Kuva 15. Jäysteenpoistotyökaluja (Billing 2012.)

Nämä paineilmamoottorilla varustetut työkalut ovat edullisia ja kevyitä sekä ne on suunniteltu kestämaan robotin käsittelyvoimaa varten. (Billing 2012.)

Konepajoilla tarvitaan monta erilaista viimeistely työkalua. Yleisimpiä työkaluja ovat hiomanauhat- ja kartiot, pyörivät viilat, erilaiset harjat. Kaikki nämä on mahdollista hyvällä suunnittelulla liittää robotin työkaluiksi. Näistä suosituimpia ja käytetyimpiä jäysteenpoistotyökaluja ovat pyörivät viilat ns. koneviilat. Kuvassa 16. nähdään, että koneviiloja on saatavilla erikokoisia ja muotoisia työstettävää kohdetta varten. Ne on valmistettu kovametalista ja ne on suunniteltu kestämaan kovaakin työstöä. (Billing 2012.)

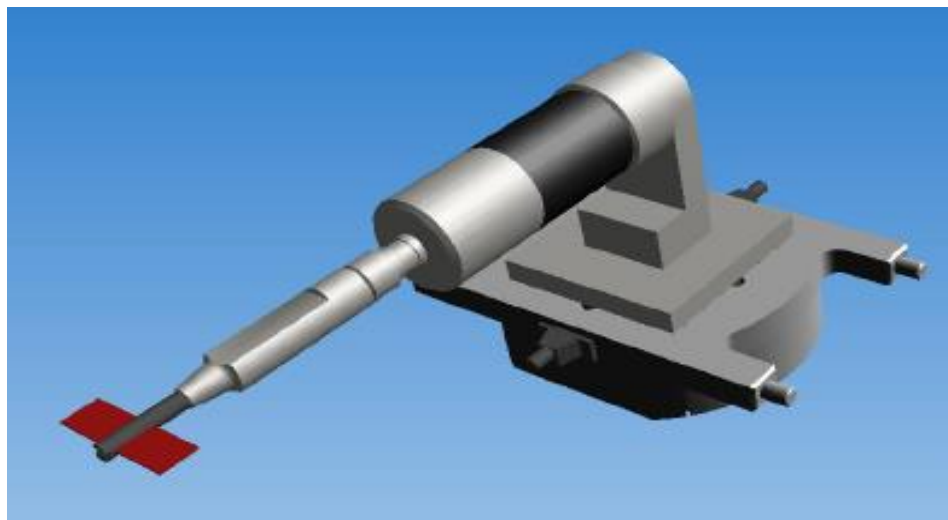


Kuva 16. Erimuotoisia koneviiloja (Billing 2012.)

Konepajojen muut suosimat jäysteenpoistotyökalut ovat hiomakartiot, kuva 17. ja flap-työkalu, kuva 18. Hiomakartio koostuu kartion muotoon valmistetusta hiomanauhasta ja työkalupitimeen kiinnitettävästä kumikarasta. Tämä työkalu soveltuu hyvin kevyempään jäysteenpoistoon. Ainoa ongelma on se, että hiomanauha kuluu nopeasti ja aiheuttaa lisää työtä nauhoja vaihtamalla. Hiomanauhasovellukset ovat yleinen menetelmä robotisoidussa jäysteenpoistossa. Flap-työkalu puolestaan poistaa tehokkaasti pienistä ja isoista koloista sekä muodoista jäysteen pois. (Billing 2012.)



Kuva 17. Hiomakartio ja kumikara (Billing 2012.)



Kuva 18. Flap-työkalu (Billing 2012.)

Jäysteenpoiston automatisointia suunnitellessa pitää kuitenkin muistaa se, että aina ei ole paras vaihtoehto robotisointi. Jäysteenpoistosolun on täytettävä perusvaatimukset, kuten kapasiteetin koko, prosessit, työkappaleiden kuljetukset ovat myös jäysteenpoistosolun suunnittelun perusvaatimuksia, jotka tulee ratkaista. Suunnittelussa täytyy myös huomioida menetelmät miten jäysteenpoisto tehdään taloudellisesti kannattavasti. (Bilting 2012.)

4.4 Teollisuusrobottien hyödyt ja haitat

Teollisuusroboteilla saavutetaan monia hyötyjä yritykselle. Yrityksen kustannukset pienenevät, kilpailukyky paranee, tuotteiden laatu paranee, laatu on tasaisempaa, tuotannon määrä kasvaa, tuotteiden valmistuksesta tulee joustavampaa, materiaalihukka pienenee, työturvallisuus paranee ja uusien työntekijöiden tarve vähenee. Teollisuusrobotit voivat työskennellä miehittämättöminä jatkuvasti ilman taukoja. Tuotteiden laadun paraneminen selittyy sillä, että prosessi voidaan ajaa ja ohjelmoida samalla tavalla sekä tarkkuudella, mihin ihminen ei kykene. Robotti voidaan ohjelmoida tekemään useita eri tehtäviä samanaikaisesti, jolloin valmistus on joustavampaa. (Tuunanen 2014.)

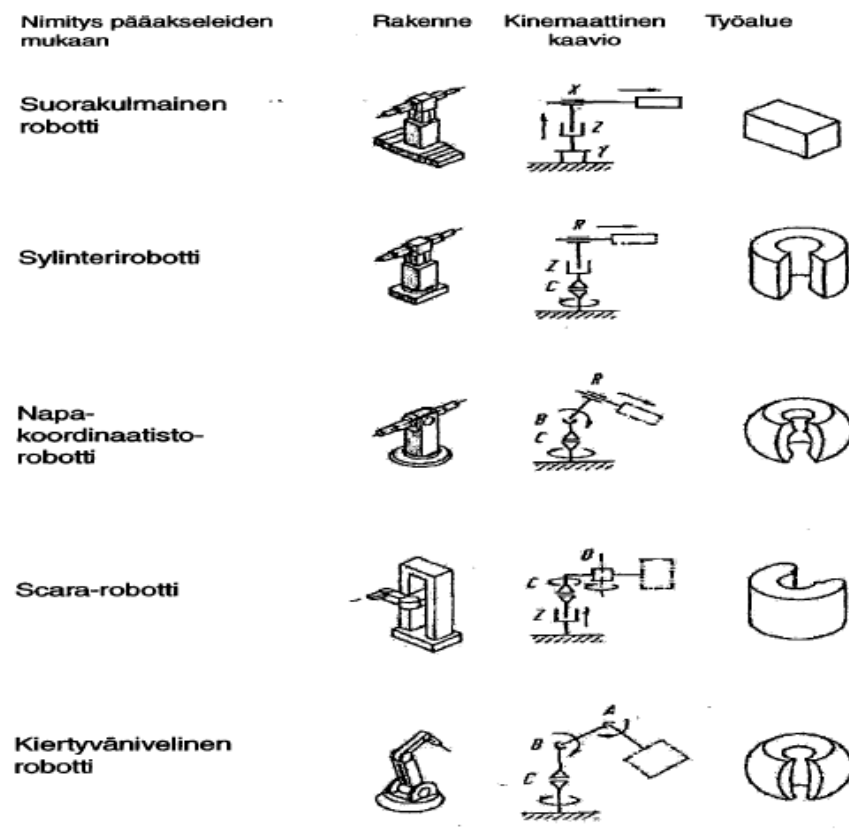
Suunnaton merkitys robotisoinnilla on ihmisen terveydelle, koska robotti voi tehdä kaikki fyysiset työt. Robotti suorittaa kaikki painavien kappaleiden nostot ja siirrot, jolloin voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä työterveyshuolloissa. (Tuunanen 2014.)

Vaikka monesti väitetään, että automatisointi vie ihmisten työt, niin robotisoinnilla voi olla jopa päinvastaisia vaikutuksia ihmisten työllisyyteen. Teollisuusrobottien pääasiallisena tavoitteena ei kuitenkaan ole täysin korvata ihmistä työpaikoilla, vaan vapauttaa työntekijöitä tekemään muita työtehtäviä. Robotit tarvitsevat työntekijöitä huoltamaan ja käyttämään laitteita. Tämä tarkoittaa sitä, että työntekijöistä voidaan kouluttaa uusia robotin käyttäjiä ohjelmoimaan ja huoltamaan robotteja. (Tuunanen 2014.)

5 TEOLLISUUSROBOTTIEN RAKENNE

Teollisuusrobotteja valmistavia yrityksiä on useita satoja. Jokaiselle yritykselle on kuulunut mallivalikoimaan 5 – 10 robottimallia. Robottien elinkaari jatkuvassa käytössä on n. 4 -5 vuotta, mutta hyvällä huollolla ja käytöllä voidaan saada muutama vuosi lisää käyttöaikaa. (Kuivanen 1999.)

Standardi ISO 8373 määrittelee teollisuusrobottien yleisimmät robottimallit mekaanisen rakenteen mukaan. Yleisimmät rakenteet ja niiden kinemaattiset kaaviot sekä työalueet nähdään kuvassa 19. (Kuivanen 1999.)



Kuva 19. Robottien rakenteet, kinematiikka ja työalueet (Kuivanen 1999.)

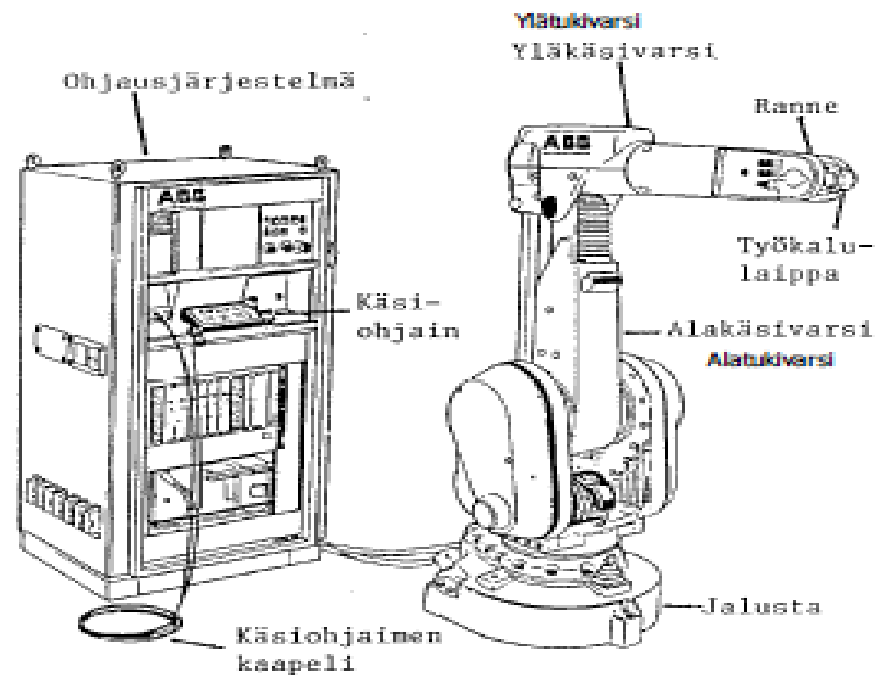
Robottien rakenteessa on usein yritetty matkia ihmisen käsivarren liikkeitä, nivelien toimintaa, rannetta sekä kouraa vastaavia liikkeitä. Robotin käyttäjää ei kiinnosta analogia ihmisen liikkeisiin vaan käyttäjää kiinnostaa suoriutuuko robotti suunnitelluista käsittely- ja siirtotehtävistä. (Robotiikka 2014.)

Robottien käyttösovelluksissa tarkkuus on olennainen tekijä, joka on yhden millimetrin luokkaa robotin rakenteesta riippumatta. Nykyiset robotit pääsevät paljon parempaan tarkkuuteen, jolloin robotin on pystyttävä $+0,05 - 0,1$ mm asemointitarkkuuteen. (Robotiikka 2014.)

Robottien kappaleenkäsittelyssä on suuria eroja, riippuen hyvin paljon robotin koosta ja ulottuvuudesta. Pienimmät robotit voivat käsitellä maksimissaan 5 kg ja suurimmat robotit voivat käsitellä useiden satojen kilojen jopa parin tonnin taakkoja. (Robotiikka 2014.)

Teollisuustuotannossa robotin tarkoitus on liikuttaa kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien

suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa. Teollisuusrobottimalleja valmistetaan vuodessa tuhansittain tuotannon joustavaan käyttöön. (Kuivanen 1999.) Kuvassa 20. nähdään robotin kaksi pääosaa: ohjausjärjestelmä ja manipulaattori.



Kuva 20. Teollisuusrobotti ja tavallisimmat komponentit (Kuivanen 1999.)

5.1 Robottityypit

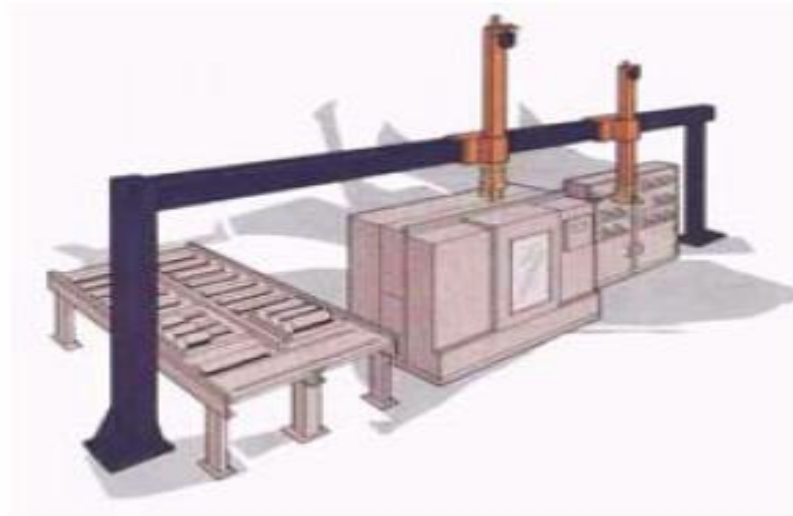
Teollisuusrobotit voidaan rakenteensa perusteella jakaa karkeasti neljään päätyyppiin:

- Suorakulmaiset robotit
- Scara-robotit
- Kiertyväniveliset robotit
- Sylinterirobotit.

5.1.1 Suorakulmainen robotti

Suorakulmaisen robotin lineaariset liikkeet tapahtuvat kolmella ensimmäisellä vapausasteella. Rakenne on tuettu palkeilla kulmista ja liike tapahtuu kiskoilla. Tyypillistä suorakulmaista robottia edustaa portaalirobotti, joka on kulmista tuettu palkeilla ja joiden väliin on kiinnitetty johteet. (Kuivanen 1999.)

Portaalirobotin kuormankantokyky on suuri johtuen tukevasta rakenteesta. Kuvan 21. portaalirobotin rungon muodostavat pystypalkit, joiden varaan on tuettu pystypalkein nähden poikittaissuunnassa liikkuva palkki. Portaalirobotin käyttökohteita ovat mm. suuret logistiikkakeskukset. (Kuivanen 1999.)

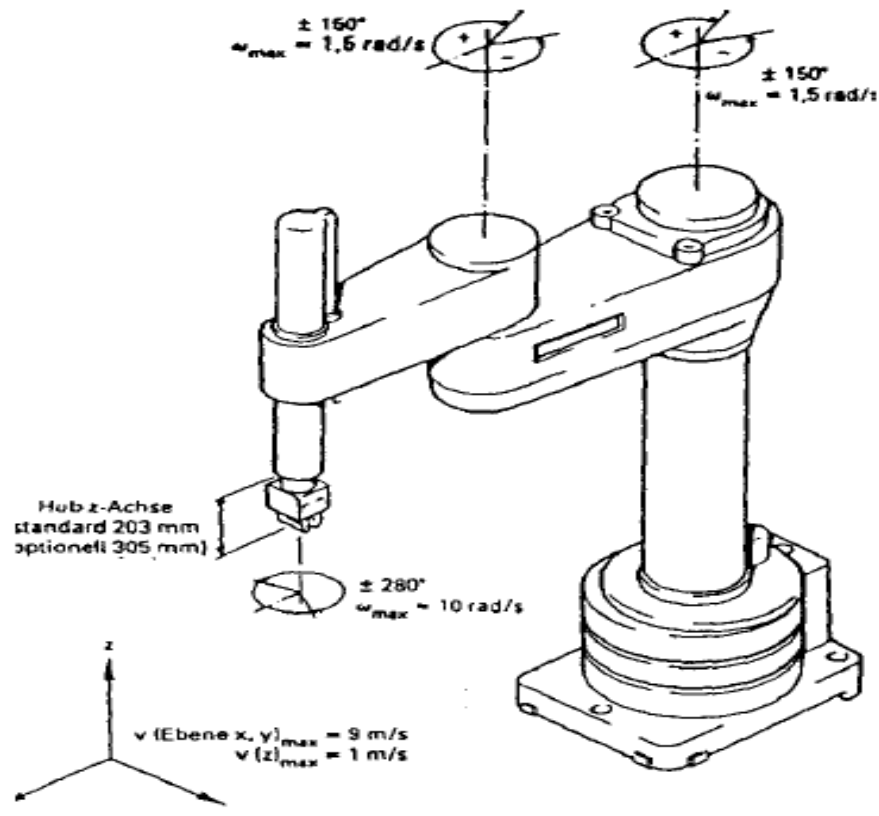


Kuva 21. Portaalirobotti (Jokelainen 2012.)

5.1.2 Scara-robotit

Scara-robotti voidaan helposti sekoittaa portaalirobottiin, mutta erot ovat kuitenkin selvät. Scara-robotin työalueet ovat rakenteesta johtuen sylinterimäisiä. Scara-robotin kuormankantokyky on portaalirobottiin verrattuna paljon pienempi. (Kuivanen 2012.)

Scara-robotteja käytetään kokoonpanossa ja ovat jalallisia robotteja, joiden nivelet ovat vaakatasossa sekä pystysuuntainen lineaarinen liike. Joustavan kokoonpanorobottikäsivartensa avulla työkalu saadaan kolmella kiertyvällä nivelellä oikeaan kohtaan ja kulmaan. Liikkeet tapahtuvat kuitenkin vain yhdessä tasossa. Scara-robotti muistuttaa ihmisen käsivartta, mutta ranteeseen on kiinnitetty edestakaisin liikkuva työkalu. Nämä nopeat robotit pystyvät käsittelemään kevyitä kappaleita ja yleisesti Scara-robotteja käytetään pienikokoisten kappaleiden kokoonpanossa. Kuvassa 22. esitetään Scara-robotin tiedettyyn suuntaan joustava kokoonpanorobottikäsivarsi. Kuva 23. nähdään Scara-robotteja kokoonpanotyössä. (Kuivanen 1999.)



Kuva 22. Scara-robotti ja neljä vapausastetta (Kuivanen 1999.)

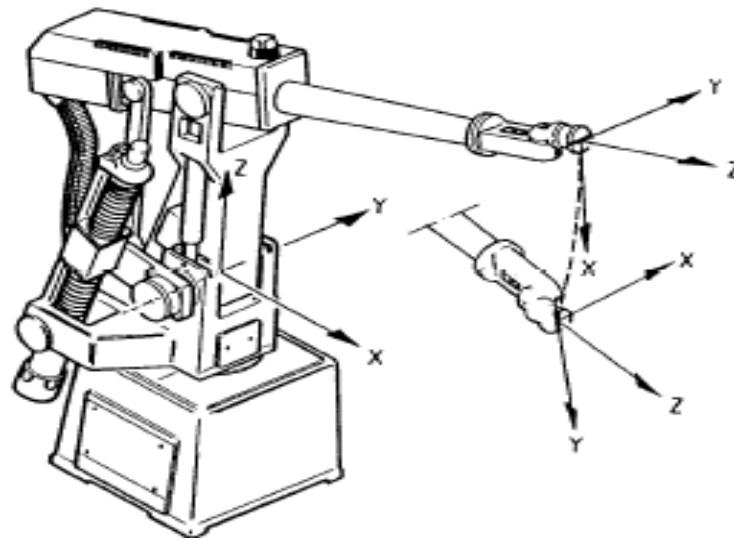


Kuva 23. Scara-robotteja kokoonpanotyössä (Jokelainen 2012.)

5.1.3 Kiertyväniveliset robotit

Kiertyväniveliset robotit ovat tavallisimmat teollisuusrobotit. Teollisuusrobottien tekniikka perustuu mekaniikkaan, koska sen tukivarret on kytketty peräkkäin. Kaikki sen vapausasteet ovat kiertyviä. Vapausasteita on yleensä neljä tai kuusi. Kiertyvänivelisten robottien kantokyky suhteessa

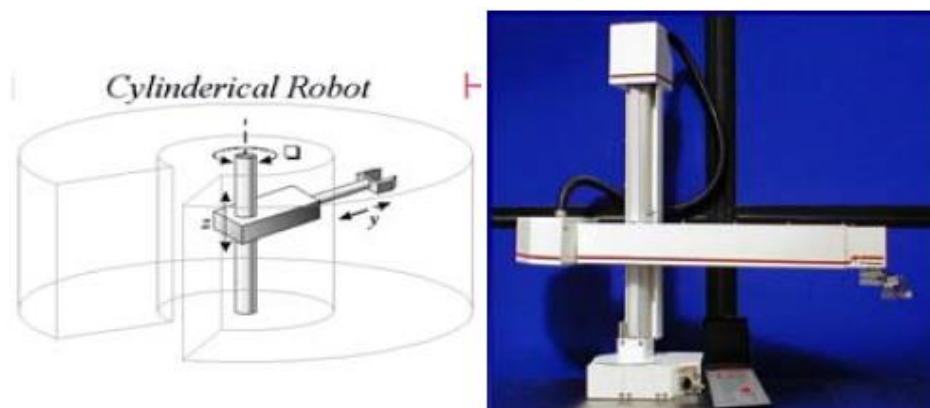
kokoon on melko pieni, mutta ulottuvuus on suuri, kuten kuvassa 24. nähdään. Työalue on laaja, pallonmuotoinen. (Kuivanen 1999.)



Kuva 24. Kiertyvänivelinen teollisuusrobotti (Kuivanen 1999.)

5.1.4 Sylinterirobotit

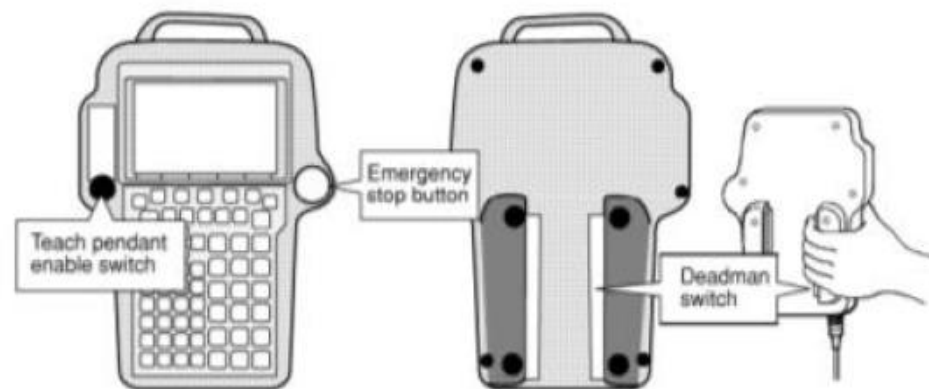
Sylinteriroboteilla on luonnollisesti sylinterikoordinaatisto. Tämä johtuu siitä, koska ensimmäisenä vyötärönivelenä on kiertyvä nivel. Sylinterirobotti muistuttaakin hyvin paljon suorakulmaistarobottia, koska robotilla on kahden lineaarisesti liikkuvan nivelen lisäksi yksi kiertyvä. Sylinterirobotteja käytetään elintarviketeollisuudessa koneiden panostamiseen ja purkamiseen. Robottien etuna on se, että ne ylettyvät kapeisiin ja syviin aukkoihin ilman törmäystä reunoihin. Kuvassa 25. nähdään, vaikka robotin rakenne on pelkistetty, niin robotilla on intuitiivinen työtila. Sylinterirobottia ei tarvitse tukea nurkistaan työalueen yläpuolelle. (Kuivanen 2012.)



Kuva 25. Sylinterirobotti (Jokelainen 2012.)

5.2 Robotin ohjelmoinnin perusteet

Robottien ohjelmointi jaetaan yleensä online- ja etäohjelmointiin eli offline ohjelmointiin. Yleensä robottien ohjelmointi tapahtuu online-tekniikan avulla, jolloin robotti on poissa tuotantokäytöstä ja liikkeiden ohjelmointi tapahtuu käsiohjaimen avulla. Halutut pisteet etsitään liikuttamalla robottia käsiohjaimella tai näppäimillä. Tällä ohjelmointi tavalla minuutin työkierron ohjelmointi vaatii lähes tunnin opetusajan. Kuvassa 26. esitellään ABB:n robotin käsiohjain ja ns. kuolleenmiehen kytkin, jolla esitetään esimerkiksi robotin törmääminen. (Billing 2012.)



Kuva 26. Käsiohjain (Jokelainen 2012.)

Etäohjelmointi eli offline ohjelmointi toteutetaan graafisella RobotStudio tietokoneohjelmalla ja valmis ohjelma siirretään robotin ohjausjärjestelmään. Robotti on pois tuotannon käytöstä vain vähän aikaa ohjelman tarkistusta varten. Etäohjelmointi voi olla teksti- tai mallipohjaista. Tekstipohjaisessa ohjelmoinnissa ohjelmointi tapahtuu tekstinä robotin ohjelmointikielellä. Tekstipohjaisella ohjelmoinnilla on helppo liittää testattuja osuuksia robottiohjelmiin, esim. tarttujan tai työkalunvaihdot. Mallipohjaisessa ohjelmoinnissa hyödynnetään 3D-malleja, joiden piirteitä käytetään ohjelmaratojen luonnissa. Robotin ohjelmaan voidaan ohjelmoida liikekäskyjä, erilaisia ehto- ja silmukkarakenteita, ulkoisten laitteiden ohjauskäskyjä ja paikoituksiin liittyvää tietoa. (Billing 2012.)

Etäohjelmointi on monessa suhteessa hyvä tapa tehdä turvallista ohjelmointia. Etäohjelmointi on tuotantoa keskeyttämätön robotin ohjelmointimenetelmä, jossa robotin ohjelma tehdään tuotannon ulkopuolella tietokoneella. Etäohjelmoinnin etuja ovat:

- Etäohjelmointi on helpompaa kuin online ohjelmointi
- Usein nopeampaa ja mukavampaa
- Turvallisempaa

- Ei vaurioitumisriskiä
- Törmäystarkastelu kuvaruudulta
- Mahdollistaa ohjelmien kokeilun ja optimoinnin
- Vähentää aikaa, jonka robotti on pois tuotannosta
- Ohjelmointi onnistuu paikkoihin mihin ei näe
- Mahdollistaa ohjelmien siirron tehtaan tietoverkon avulla
- Mahdollistaa toimivien ohjelmien osien käytön uusien ohjelmien pohjana. (Robotiikka 2014.)

6 ROBOTIN INVESTOINTI

Robotin hankinta vaiheessa tärkeimmäksi kriteeriksi muodostui kappaleenkäsittelykyky. Robotin valinnassa pitää muistaa se, että robotti pystyy tekemään sille määritellyt työt ja niiden vaatimat ominaisuudet. Erilaisissa sovelluksissa voi olla tärkeää suuri paikoitustarkkuus kun taas toisessa käyttökohteessa voi olla hyvinkin tärkeää ratatarkkuus. Varsinkin erinomaista ratatarkkuutta tarvitaan konepajateollisuudessa työstökeskuksissa. Alkuvaiheessa on tärkeää huomioida robotin todellinen kappaleenkäsittelykyky ja kuormankantokyky. Sen laskemisessa tulee ottaa huomioon liikuteltavan kappaleen lisäksi robottiin kiinnitettävät laitteet kuten erilaiset tarraimet kappaleenkäsittelyyn. Joissain tapauksissa on tärkeää huomioida robotin suojaustaso esimerkiksi maalauksessa. Tällöin robotilta vaaditaan hyvää suojausluokkaa, esim. IP67, mikä tarkoittaa täysin pöly- ja vesi tiivistä laitetta. Ennen kaikkea robotin valintaan vaikuttavat ensisijaisesti käyttötarkoitus, käsiteltävän kappaleen ominaisuudet, kapasiteetti, järjestelmän soveltuvuus tuotantoon ja robotin hinta. Muuta robotin valinnassa huomioitavaa:

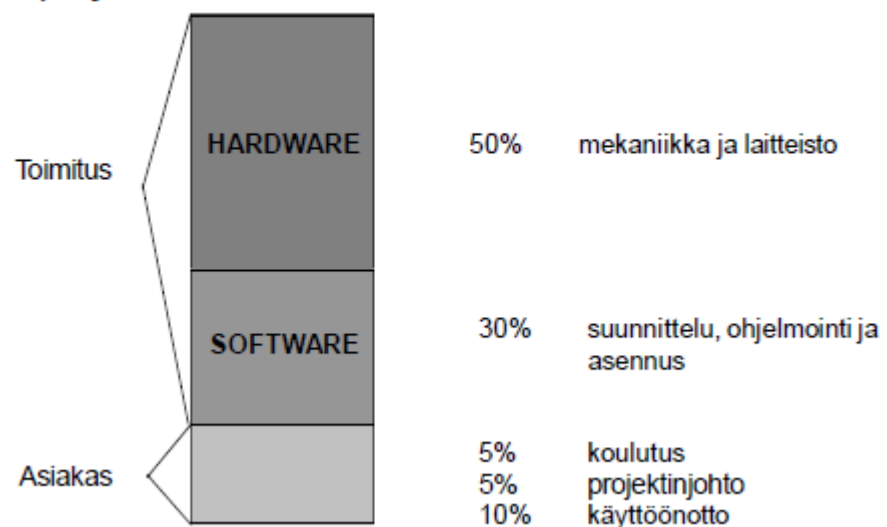
- Todellinen käsittelykyky
- Ulottuvuus eri asennoissa
- Liikenopeuksien riittävyys
- Liitettävyysoheislaitteisiin ja keskusohjaukseen
- Tarraimien ja työkalujen kiinnitys
- Ohjelmointi.

Robottihankinnan alkuvaiheessa yritys ei suoraan hyödy teollisuusrobotin hankinnasta johtuen suurista investointikustannuksista uusiin robotteihin. Robotti-investointi kannattaa tehdä jos se on yrityksen tarpeeseen perusteltua. Yleensä robotti-investointi alkaa tuottamaan tulosta 2-3 vuoden kuluessa jolloin hankinnasta aletaan tekemään voittoa. Yksittäisten robottien hinnat ovat nykypäivänä 20 000 euroa koosta riippuen. Ilman huolellista suunnittelua ja harkintaa robotin hankinta ei takaa parempaa tulosta, vaan hankinnan käyttötarkoitus on suunniteltava tarkasti, jotta haluttuja tuloksia saataisiin syntymään. (Robotiikka 2014.)

Robotin investoinnin kannattavuus kannattaa selvittää kustannus ja investointilaskelmilla. Robotin kannattavuus muodostuukin tärkeäksi seikaksi pitkässä sarjatuotannossa, kun on aika tehdä investointipäätöksiä. Työvoimakulujen kasvaessa robotisoinnista on tullut kannattava investointikohde. Kuitenkin robotin investoinnissa täytyy laskea tarkasti kuinka paljon ollaan valmiita sijoittamaan ja minkälaisia hyötyjä robotisoinnista saadaan. (Robotiikka 2014.) Seuraavat seikat vaikuttavat robotin valintaan:

- Käsiteltävien kappaleiden koko
- Robotin koko
- Robotin ulottuvuus
- Robotin kuormankantokyky
- Robotti tarraimet ja työkalut
- Henkilökunnan koulutus
- Hankintahinta.

Robottiprojektin kustannusrakenne



Kuva 27. Robottiprojektin kustannusrakenne (Robotiikka 2014.)

6.1 Robotin hankinta- ja ylläpitokustannukset

Robotin hankintakustannuksilla tarkoitetaan niitä kustannuksia, joita syntyy kun päätetään, että robotisointiprojekti toteutetaan. Lisäksi hankintakustannuksiin voidaan ajatella laitteiden seisakkiajat robotin asentamisen ajaksi sekä huolto- ja kunnossapidon toimenpiteet. Vaikka monissa yrityksissä on ammattitaitoinen henkilökunta, mutta ei ole tarpeeksi tietoa robotin ohjelmoinnista ja käytöstä, niin silloin pitää myös koulutukseen in-

vestoida. Aika usein käy niin, että koulutuksen ja uuden sovelluksen hankinta esimerkiksi RobotStudio, on paljon suurempi kuin pelkän robotin hinta. Kuvassa 27. nähdään, että robotin kustannuksista puolet syntyy robotista ja sen laitteista, yksi kolmasosa suunnittelusta, asennuksesta ja ohjelmoinnista sekä loput käyttöönotosta ja koulutuksesta. (Robotiikka 2014.)

Robotin ylläpitokustannukset syntyvät niistä asioista, jotka käyttävät robottia päivittäin eli henkilökustannuksista. Ylläpitokustannukset syntyvät siitä kun työntekijät käyttävät, valvovat, huoltavat ja ohjelmoivat robotteja sekä robotin ylläpitämiseen vaadittavien henkilöiden palkoista ja koulutuksesta.

6.2 Robotin kilpailutus

Robotisoinnin suunnittelun ja investoinnin täytyy perustua tuotannon tarpeisiin, jolloin kartoitetaan lähtötilanteen tarkka analysointi ensimmäisessä robotisoinnin vaiheessa. Tällöin kiinnitetään huomiota:

- Käsiteltävien kappaleiden tilaan
- Kappaleiden siirtoihin
- Oheislaitteiden sijoitteluun
- Työvaiheiden loogiseen etenemiseen
- Liittymät muuhun työympäristöön
- Miehitykseen ja
- Ympäristöolosuhteisiin.

Kappaleenkäsittelyrobotteja on markkinoilla runsaasti tarjolla. Samoin robottien jälleen myyjiä on riittävästi Suomessa. Järjestelmien toimittajia on sen sijaan valitettavan vähän eli niitä toimittajia, jotka ovat valmiita ottamaan kokonaisvastuun laajemmista kappaleenkäsittelyn robotisointihankkeista. Tällöin robotisointitoimitukseen kuuluu teollisuusrobotin lisäksi tarttumat, ohjelmointilaitteet, anturit, apupöydät ja kuljettimet sekä sovel-luskohtaisia erikoislaitteita. (Robotiikka 2014.)

Kokonaisvastuullisen toimittajan löytäminen on vaikeaa, jos robotisoinnissa on tarkoitus yhdistää eri valmistajien työstökoneita, ja laitteita sekä lisäksi vanhoja jo olemassa olevia tuotantokoneita. Tässä tapauksessa usein robottien toimittajilta puuttuu sovellusala-kohtainen erityistietämys. Siksi on erityisen tärkeää löytää oikeat toimittajat ja robottien valmistajat, joilla on sovellusala-kohtaista tietoa keskenään kommunikoivista laitteista. (Robotiikka 2014.)

Yleisten hyvien liiketoimintamallien mukaan robottienkilpailutus tehdään eri valmistajien välillä luomalla tarjouskysely robottivalmistajille. Tarjous-

kyselyssä määritellään robotin halutut ominaisuudet kuten kuormankantokyky, ulottuvuus, toistotarkkuus ja tulojen ja lähtöjen määrät. Tarjouskysely voidaan joustavasti tehdä sähköpostilla robottivalmistajille tai alustavasti voidaan keskustella puhelimenvälityksellä.

Robottien investointiin valittiin kolme merkittävää kappaleenkäsittelyyn erikoistunutta teollisuusrobottien valmistajaa. Valinta tehtiin ABB:n, Fanuc'in ja Motomanin välillä. Tarjouskyselyjen perusteella tehtiin päätös hankinnasta, mikä robottimalli hankitaan. Valintaan vaikuttavia tekijöitä olivat kilpailussa määritetyt ominaisuudet, joita robotilta haetaan. Kilpailutuksessa voittajaksi nousivat ABB:n robotit, jotka ovat toistotarkkuudeltaan tarkimpia ja ne pystyvät paikoittamaan itsensä millin sadasosan tarkkuudella. Muita valintaan vaikuttavia tekijöitä olivat ABB:n robotin käyttökokemus. Työntekijöillämme on useiden vuosien kokemus ABB:n teollisuusroboteista huollon, käytön ja ohjelmoinnin osalta. Joten luontevaa oli valita tuttu toimittaja uusiin robotteihimme.

Koska kyseessä on robottien hankinta olemassa oleviin tuotantosoluihin, niin robottien mallit ja koot ovat olleet tiedossa sekä robottien ominaisuudet. Robottien uusiminen tulee ajankohtaiseksi senkin takia, koska varaosien saanti vanhoille robottimalleille ei enää ole mahdollista. Kuvassa 28. nähdään robottien elinkaari ja varaosien saatavuus vuosien ajalle.

- Active/Classic = varaosien saatavuus on hyvä
- Limited = varaosien saatavuus rajallinen
- Obsolete = varaosien valmistus on lopetettu

Life Cycle Management LCM	Active	In robot production. Full support of spare parts and technical product support.								
	Classic	Robot production ended. Spare parts and full technical product support available 8-10 years after end of production. Upgrades might be necessary.								
	Limited	Guaranteed spare part support ended. Limited technical product support. Parts supplied as long as they are available and the support can be justified commercially.								
	Plan Obsolete	Planned Obsolete year but not decided.								
	Obsolete	End of parts and technical product support. Existing inventory might sometimes be kept and sold out, no refilling. Second year sell out available stock.								
	End-Of-Life Year (EOL)	Final year of Limited phase. The part is Limited until 31 december EOLY.								
Support of spare parts by type		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Robots										
IRB 1400 M94A										
IRB 1400 M97A										
IRB 2600 M2004	Obsolete									
IRB 1400 M2010	Classic	Classic	Classic	Classic	Classic	Classic	Classic	Classic	Limited	Limited
IRB 1400 M2010	Limited	Obsolete	Obsolete							

Kuva 28. Robottien elinkaaritarkistus (Komas Oy/ABB 2017.)

6.2.1 Robottimallit

Robottimallien valinnan osalta akuutein tilanne on jäysteenpoistosolussa, jossa vanha robottimalli ei enää toimi kunnolla. Jäysteenpoistosoluun valitaan ABB:n robotti IRB 1410. Kuvassa 29. nähdään malliltaan ja väriltään

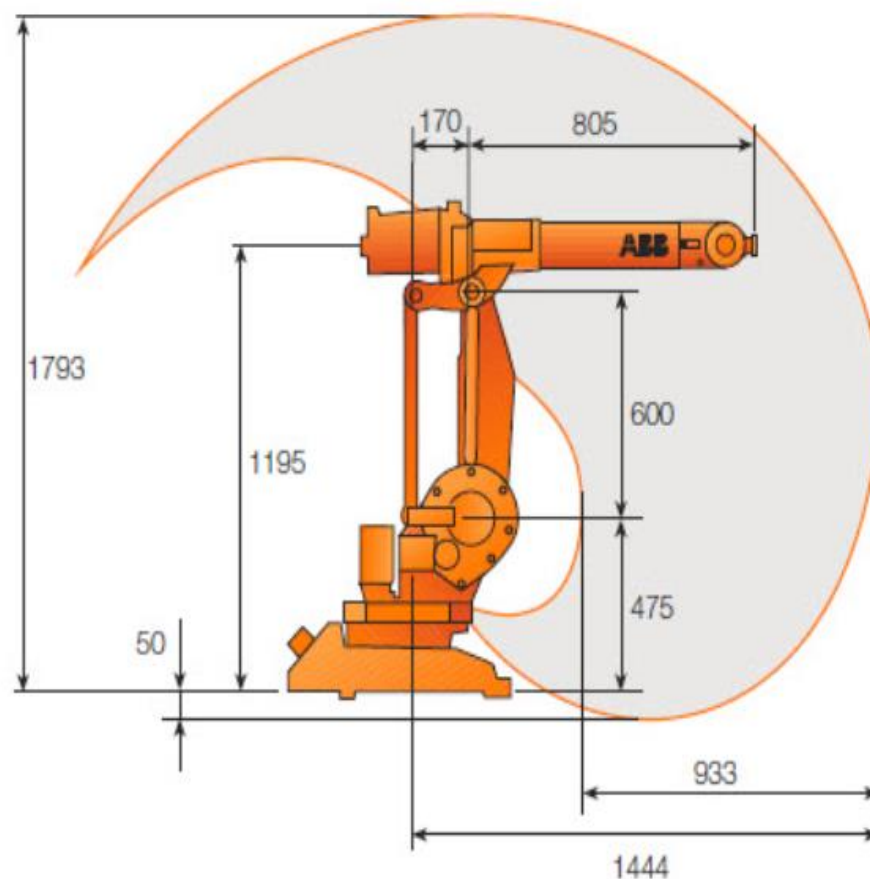
uusi ABB:n robotti. Nykyään ABB:n robotit ovat valkoisia ja ennen ne olivat väriltään oransseja.



Kuva 29. ABB:n teollisuusrobotti IRB 1410. (ABB 2017.)

IRB 1410 on kustannustehokas, käytännössä kokeiltu robotti, jonka pituus ja ulottuma riittävät useimpiin käyttösovelluksiin. Kuvan 29. robottimalli on uudempi versio mallista IRB 1400, joka on tällä hetkellä käytössä jäys-teenpoistosolussa Komas Oy:llä.

IRB 1410 etuina voidaan pitää ylivertaisen ohjauksen ja liikeradan tarkkuuden lisäksi luotettavaa ja kestäväää rakennetta. IRB 1410-robotilla on alhainen melutaso, pitkät huoltovälit ja pitkä käyttöikä. Kuvassa 30. nähdään, robotin työskentelyalue, joka on suuri ja ulottuvuus on 1,44 m. Kuormakapasiteetti on 5 kg, ja varren yläosaan voidaan kiinnittää jopa 18 kg:n prosessilaitekuorma. IRB 1410-robotin ehdottoman suuri etu on vankka rakenne sekä tehokas ja tarkka IRC5-ohjain.



Kuva 30. IRB 1410-robotin työskentelyalue (ABB 2017.)

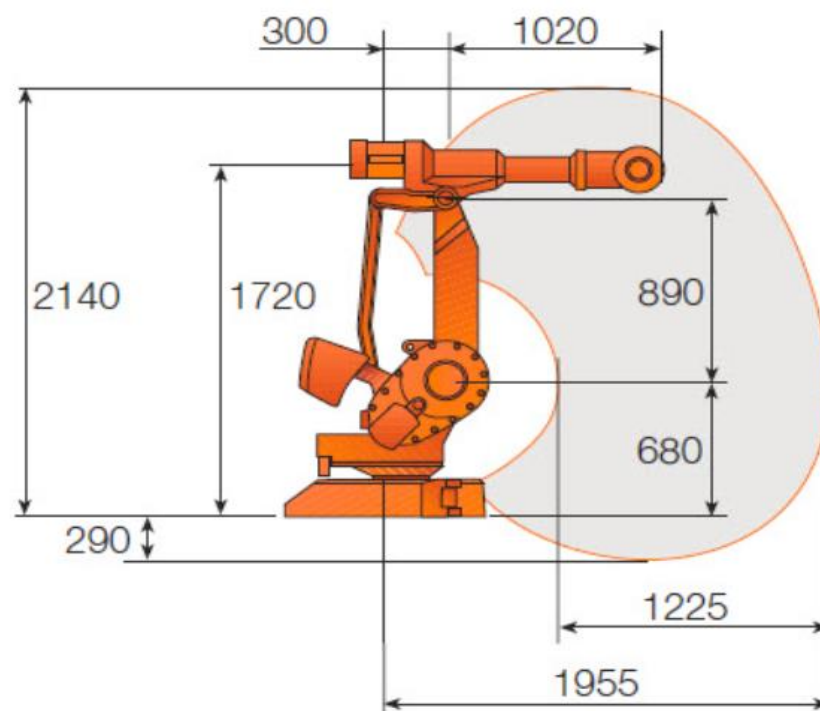
Toinen robottimalli valitaan kovaan ja pitkäkestoiseen sarjatuotantoon. Kuvassa 31. ja 32. nähdään IRB 4400 robotin nykyinen malli ja laaja työskentelyalue. Tämän robotin täytyy pystyä työskentelemään tarkasti ja nopeasti vakailla liikkeillä sekä pystyä mukautumaan vaihteleviin ympäristöoloihin. Valitamme siis kohdistui ABB:n robottiin IRB 4400, jonka maksimikuorma 60 kg ja ulottuvuus on suuri. IRB 4400 etuina voidaan pitää:

- nopeaa kiihdytystä ja suurta huippunopeutta
- tarkkuutta ja tasaisen varmaa laatua
- monipuolisuutta
- IP67-kotelointi suojaa robottia ankaralta käyttöympäristöltä.

Kotelointi suojaukseen on mahdollista saada valinnaisena kahta eri mallia, joka tarkoittaa sitä, että millaisella tavalla voidaan robottia huoltaa ja miten robottia voidaan pestä. (ABB 2017.)



Kuva 31. ABB:n teollisuusrobotti IRB 4400 (ABB 2017.)

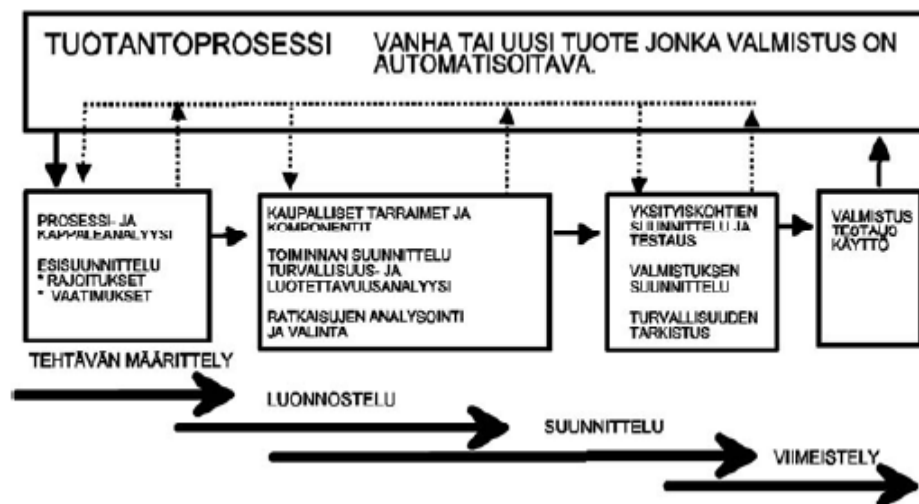


Kuva 32. IRB 4400 laaja työskentelyalue (ABB 2017.)

Robotin investoinnissa täytyy kuitenkin muistaa erityisen tärkeä asia. Kun robotti hankitaan, niin sen täytyy pystyä työskentelemään myös ulottuvuuden ansiosta myös mahdollisesta vanhan solun muutoksen jälkeenkin. Tässä vaiheessa täytyy tarkkaan miettiä ja suunnitella robottimallien vaihtoehtoja.

6.2.2 Tarraimet

Kun kyse on kappaletavara-automaatiosta, niin tarttujen suunnittelussa täytyy muistaa käsiteltävän kappaleen koko. Tarttumat jaetaan tartuntatyy-
pin mukaan mekaanisiin, magneettisiin, alipaine- ja erikoistarttumiin. Ro-
bottien valmistajilta on saatavana vakiotarttumat ja niiden rakenneosia. Voi-
daankin sanoa, että tarttumat ovat robotin tärkein yksittäinen komponentti.
Ne määräävät millaisiin kappaleisiin robotti pystyy tarttumaan. Tarttuman
tarkoituksena on siirtää kappale laitteeseen ja sieltä pois. Yleensä tarttumat
eivät ole heti sopivan kokoisia vaan ne tarvitsevat hyvää suunnittelua mah-
tuakseen koneeseen. Tällöin voidaan joutua tekemään mekaanisia muu-
toksia laitteeseen. Tarttujen käyttö tulisi olla sujuvaa ja tarve käyttää eri-
laisia tarttumat jäisi mahdollisimman vähäiseksi tai mielellään kokonaan
pois. Näin voidaan saavuttaa suuria kustannussäästöjä. Kuvassa 33. näh-
dään tarttuman suunnitteluprosessi. Tarttuman valinnassa ja suunnittelussa
on tarkasteltava automatisoitavaa tehtävää kokonaisuutena. (Jokelainen
2012.)



Kuva 33. Tarttujan suunnitteluprosessi (Jokelainen 2012.)

Tarttujen valintaan ja suunniteluun vaikuttavia tekijöitä ovat siis tartutta-
vaan kappaleen koko, muoto ja materiaali. Erityisen tärkeää kappaleta-
vara-automaatiossa on kappaleen siirtonopeus ja millaisiin laitteisiin kap-
pale siirretään. Konepajapajateollisuudessa yleisimmät tarttumat ovat me-
kaaniset kaksi- ja kolmisormiset tarttumat sekä useampi sormiset tarttumat,
kuten kuvassa 34. nähdään. (Jokelainen 2012.)



Kuva 34. Mekaaniset kaksi- ja kolmisormiset tarttutjat (Jokelainen 2012.)

6.3 Tehdaskunnostetturobotti

ABB tarjoaa tehdaskunnostettujarobotteja erinomaisena vaihtoehtona, jos ei ole tarvetta uudelle robotille. Tehdaskunnostettuja robotteja on kunnostettu vuodesta 2007, jolloin ABB päätti avata sertifioitua kunnostuskeskuksen Tshekin Ostravaan. Siitä lähtien tässä keskuksessa on kunnostettu yli tuhat ABB robottia ja keskuksesta on tullut ABB:n globaali kunnostus- ja huoltokeskus. Tällä keskuksella on ammattitaitoinen henkilöstö joka työvaiheen tarkkoihin kunnostusmenetelmiin. Tämän keskuksen tarkoituksena on ostaa ja kunnostaa muutaman vuoden käytössä olleita robotteja tämän päivän tarpeita varten. Myytäväksi tulevat robotit ovat päivitetty ohjelmistojen myötä nykypäivän tarpeisiin ja ovat 20 % - 35 % halvempia kuin uudet vastaavat robotin mallista ja koosta riippuen. (ABB 2017.)

Tehdaskunnostetun robotin etuina voidaan pitää:

- täysin kunnostettua robottijärjestelmää kaikkien tehdasmääräyksien ja standardien sekä menettelytapojen mukaisesti
- manipulaattorin ja kaapin kaikkien osien tarkastus
- tarkkuustesti, toistotesti ja 16 tunnin kuormankantokyky testaus ennen lähetystä asiakkaalle
- uuden robotin laatu ja kestävyys
- 12 kuukauden takuu ABB:n globaalin verkoston ja alkuperäisosien kanssa
- aivan uudenveroinen ja maalattu vielä ABB:n alkuperäisvärillä
- alhaisempi ja kilpailukykyisempi hinta täysin uuteen tuotteeseen verrattuna sekä
- toimitusaika on lyhempi 2 – 3 viikkoa uuteen verrattuna, kun uuden robotin toimitusaika on n. 8 viikkoa. Tämän päälle tulee asennus ja käyttöönotto työt myös tehdaskunnostetussa robotissa. (ABB 2017.)

Tuote valikoima on laaja. Kunnostus- ja huoltokeskus keskittyy pääsääntöisesti seuraaviin robottimalleihin:

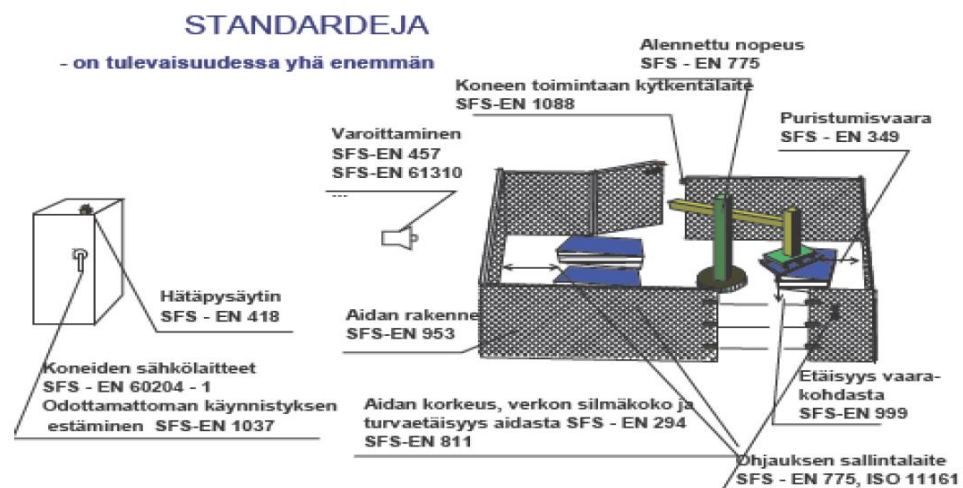
- manipulaattorit IRB140, IRB1400, IRB1600, IRB2400, IRB2600, IRB4400, IRB4600, IRB6400, IRB6400R ja IRB7600
- pakkausrobotit IRB640, IRB660 ja IRB760
- ohjaukset S4C, S4C+ ja IRC5.

Tehdaskunnostetun robotin osalta täytyy kuitenkin muistaa yksi tärkeä asia. Vaikka robottien valikoima on laaja, niin aina ei ole tarjolla jotakin mallia, koska nimenomaan tehtaan toiminta perustuu kunnostettavien robottien saatavuuteen maailmalta. (ABB 2017.)

Tehdaskunnostetun robotin edut ovat kiistattomat. Se on kustannustehokas ja luotettava ratkaisu sekä pitää tuottavuuden korkealla tasolla. Tehdaskunnostettu robotti sopii erinomaisesti yhteen olemassa olevaan järjestelmään ilman uusien varaosien tarvetta. Lisäksi robottiin on tehty kunnostusohjelma tehtaan puolesta. (ABB 2017.)

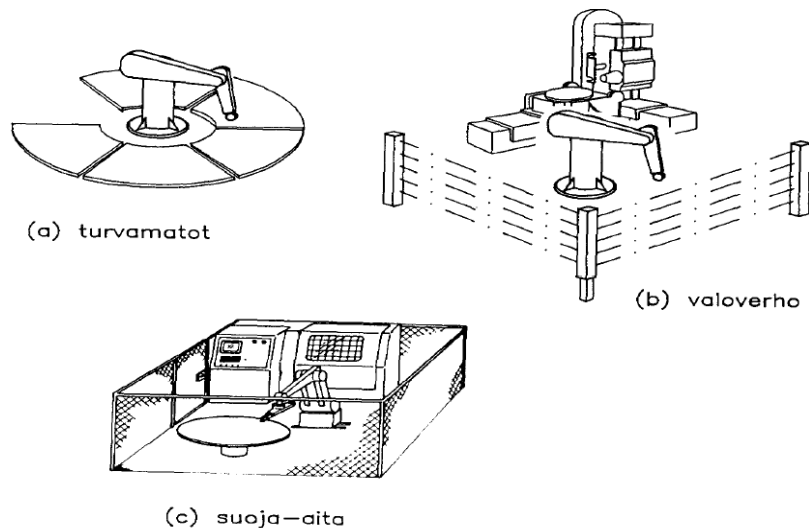
7 TEOLLISUUSROBOTIN TURVALLISUUS

Koska teollisuusrobotit ja muut automaatiolaitteet ovat tuoneet uusia työtehtäviä ja työskentelytapoja, täytyy työympäristöstä saada turvallinen ja robotin työskentelyalue voidaan suojata. Hyvin suunnitellussa automaatiojärjestelmissä robotti tekee raskaat ja yksitoikkoiset työvaiheet ja ihminen huolehtii koneen huollosta, ohjelmoinnista ja häiriötilanteista. Robottien turvallisuutta ohjaavat erilaiset standardit. Kuvassa 35. nähdään robottiturvallisuuden standardien käytöstä. (Robotiikka 2014.)



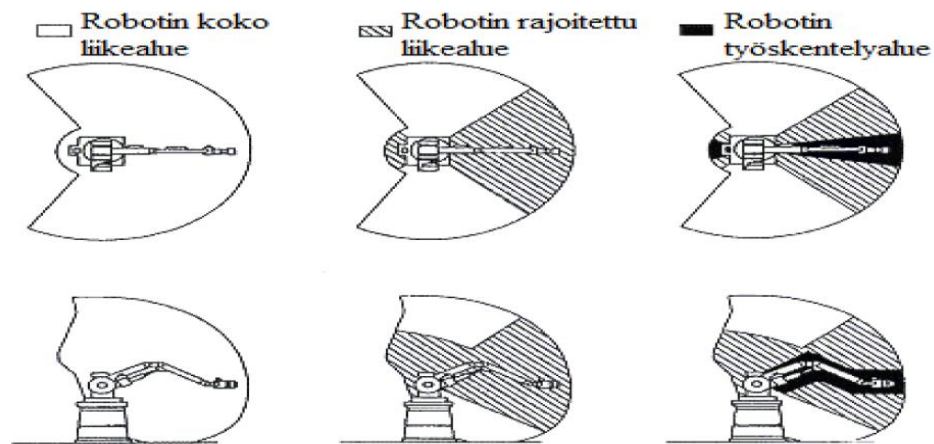
Kuva 35. Robottien turvallisuuteen liittyviä standardeja (Robotiikka 2014.)

Robotin työskentelyaluetta voidaan suojata esimerkiksi turva-aidoilla, valoverhoilla, valokennoilla, kontaktimatoilla ja nykyään myös kameravalvonnalla. Kuvassa 36. nähdään kolme tavallisempaa tapaa suojata työalue. Tekniikka perustuu anturitekniikkaan sekä erilaisiin havainnointilaitteisiin, joka pysäyttää robotin, jos ihminen erehtyy menemään robotin työskentelyalueelle. Työtilan valvontalaitteiston tavoitteena on valvoa koneiden ja henkilöiden liikkeitä ja estää niitä törmäämästä. (Tuunanen 2014.)



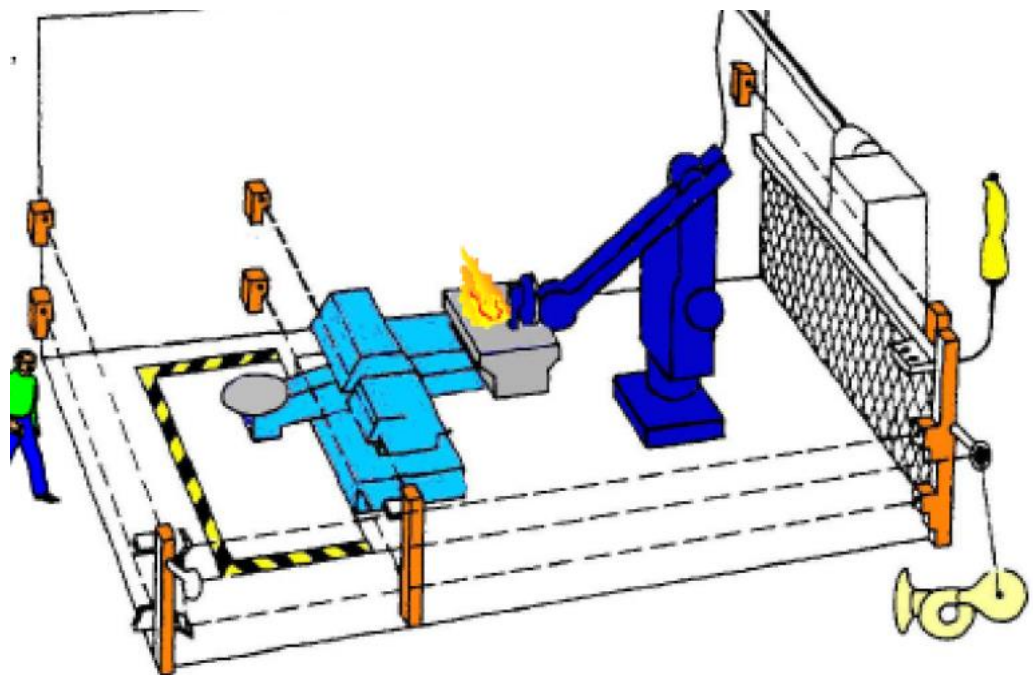
Kuva 36. Robotin vaara-alueiden eristäminen (Robotiikka 2014.)

Kun joudutaan menemään robotin työskentelyalueelle tekemään esimerkiksi huoltoja ja ohjelmointia, eivät suojalaitteet voi olla toiminnassa. Tällöin robotti asetetaan manuaaliohjaukselle tai opetustilaan, jolloin robotin hallinta on täysin käyttäjän käsissä. Robotin liikenopeudetkin lasketaan alhaisiksi, jottei mahdollisesta törmäystilanteesta syntyisi vaaraa, sillä robotin liikealue on varsin laaja, kuten kuvassa 37. huomataan. Suositeltava turvanopeus on 250 mm/s. Ennen käyttöönottoa on muistettava, ettei robotin lähellä ole muita työntekijöitä, joille voisi aiheutua vaaraa sen käytöstä. Konepajateollisuudessa työntekijät voivat lisäksi suojautua kuulosuojaimilla, suojalaseilla ja oikeanlaisilla työvaatteilla. (Tuunanen 2014.)



Kuva 37. Teollisuusrobotin liikealueet (Tuunanen 2014.)

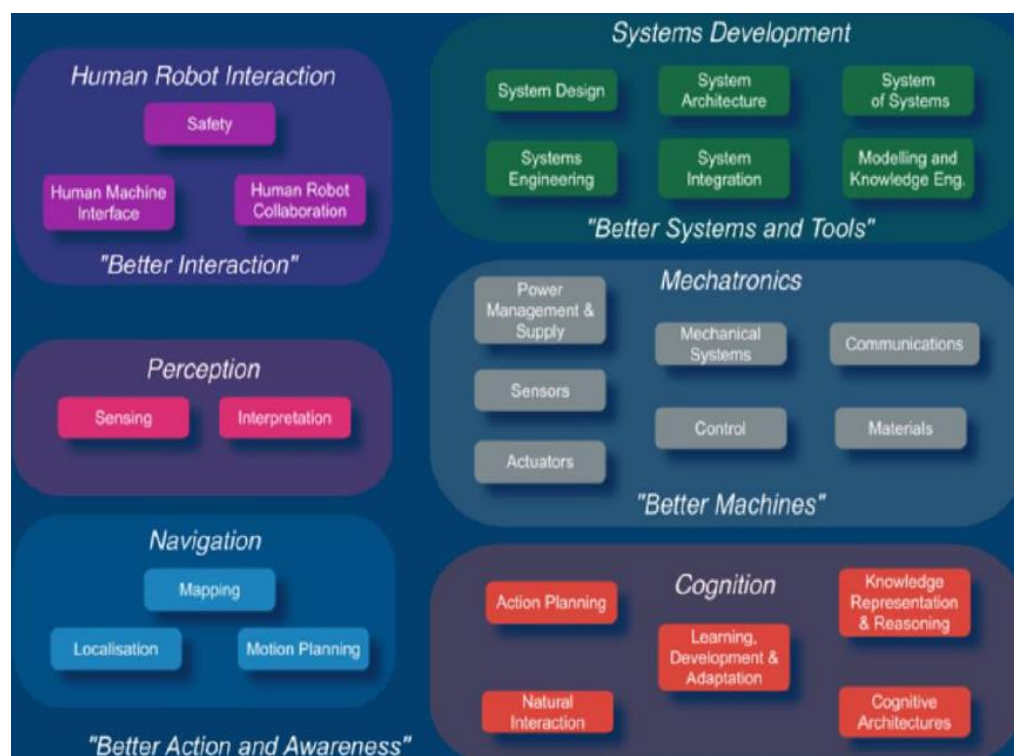
Myös on olemassa muita varoituskeinoja, joilla voidaan herättää huomiota robotintyöskentelyalueella. Yleisin näistä on hätä-seis painike, joita sijoitetaan teollisuusrobotin lähetyville, sellaisiin paikkoihin, joihin on esteetön pääsy. Muilla ulkoisilla varoituskeinoilla herätetään huomiota alueella liikkuville. Ne voivat olla esimerkiksi vilkkuvalot, äänimerkit, merkkivalotornit, varoituskyltit ja lattiaan maalatuiilla tai teipatuilla turva-alue merkinnät, joilla varoitetaan alueella liikkuvia henkilöitä vaaratilanteiden välttämiseksi. (Tuunanen 2014.) Kuvassa 38. nähdään turvallisuusteknisenä ratkaisuna valokennot, tuntomatto, sallintalaite, varoitin, aita ja aluejako.



Kuva 38. Esimerkki robottisolun turvajärjestelmästä (Robotiikka 2014.)

8 ROBOTIIKAN TULEVAISUUDENNÄKYMÄT

Robotit luonnehditaan monitekniisiin järjestelmiin ja siten robottien teknologia kehittyy kahta erilaista reittiä. Ensimmäisenä teknologioita kehitetään robottisovelluksiin (robotiikan ydinteknologiat). Tällainen kehitys on tärkeää, koska robottijärjestelmien ominaispiirteet eivät ole tyypillisiä muille järjestelmille. Toisaalta robottien kehitystä tehostaa robotiikkaa lähellä olevien muiden teknologioiden kehitys. Robottien viimeaikaisessa kehityksessä merkittävään rooliin ovat nousseet mm. tietokoneiden laskentatehon ja muisti- sekä tallennuskapasiteetin kehitys, langattoman tiedonsiirron sekä akku- ja anturitekniikan kehitys. Robottien kehityskaarta arvioitaessa on otettava huomioon kehitys sekä ydinteknologioissa että tukevilla teknologia-alueilla. Erityisen tärkeää on huomioida, ettei pelkkä tukevien teknologioiden osaaminen riitä kilpailukykyisten robottijärjestelmien luomiseksi vaan ydinteknologioiden kompetenssi on välttämätöntä. (Robotiikan taustaselvityksiä 2016.)



Kuva 39. Robotiikan teknologiat (Robotiikan taustaselvityksiä 2016.)

Eurooppalainen robotiikan strateginen tutkimusagenda (SPARC SRA, 2014) jakaa robotiikan teknologiat kuvan 39. mukaisesti kokonaisuuksiin:

- mekatroniikka (mechatronics), tässä tapauksessa robotteihin kuuluvat laitekomponentit (anturit ja toimilaitteet sekä näiden ohjaus)

- järjestelmän kehitys (systems development), liittyy robottijärjestelmien suunnitteluun, mallinnukseen ja menetelmien kehittämiseen sekä työkaluihin
- ihmisen ja robotin vuorovaikutus (human robot interaction), sisältää ihmisen ja robotin välisen vuorovaikutuksen, näiden yhteistyön sekä turvallisuuden
- ympäristön havainnointi (perception), sisältää anturitiedot käsittelyn ja sen tulkin ymmärtäminen
- liikkuminen (navigation), sisältää robotin paikannuksen, kartoituksen ja reitin suunnittelun
- älykkyyks (cognition), sisältää tiedon mallinnuksen, päättelyn ja oppimisen. (Robotiikan taustaselvityksiä 2016.)

Näiden kokonaisuuksien nykytilaa ja kehitysnäkymiä esitetään vielä seuraavissa osioissa perustuen Eurooppalaiseen tutkimusagendaan (SPARC SRA, 2014) sekä Yhdysvaltojen robotiikan tiekarttaan (US Roadmap, 2013). Kehitysnäkymät ulottuvat nykyhetkestä vuoteen 2020. (Robotiikan taustaselvityksiä 2016.)

Mekatroniikan tärkeimpiä kehitysalueita ovat joustavien mekaanisten järjestelmien kehitys turvallisuuden ja energiatehokkuuden lisäämiseksi. Tämä vaatii monianturitekniikan luotettavuuden kehittämistä vaikeampiin olosuhteisiin, jotta päästäisiin toivottuihin tuloksiin tulevaisuudessa. (Robotiikan taustaselvityksiä 2016.)

Robottijärjestelmien kehityksen tavoitteena on luoda nykyisiä parempia järjestelmäsuunnittelun menetelmiä. Erityisen haastavaa on usein yhteisten arkkitehtuurien ja rajapintojen määrittely. Kehitystarpeita ovat etenkin robottijärjestelmien suunnittelun helpottaminen sekä suunnittelumenetelmien ja työkalujen kehitystyön kustannusten alentaminen. (Robotiikan taustaselvityksiä 2016.)

Ihmisen ja robotin vuorovaikutus kasvaa lähitulevaisuudessa, koska tulevat robotit työskentelevät yhä enemmän yhteistyössä ihmisen kanssa samassa tilassa. Tärkein kehityspolku on robottien ohjelmointi opettamalla, jolloin ihmisen ja robotin vuorovaikutus korostuu esimerkiksi yhteistä tehtävää suorittaessa. (Robotiikan taustaselvityksiä 2016.)

Edullisten 3D-anturitekniikka on tärkein viimeaikainen kehitys havainnointitiedossa. Monianturitekniikan kehitys, antureiden rajapintojen sekä havainnointitiedon standardointi komponenttimarkkinoiden luomiseksi, ympäristön vaihtelua sietävien menetelmien kehitys, kohteiden tunnistuksen ja 3D-muodon mittauksen kehitys ovat merkittäviä kehityskulkuja 3D-anturitekniikassa. (Robotiikan taustaselvityksiä 2016.)

Robottien liikkumiseen liittyvät teknologiat ovat kehittyneet viimeaikoina voimakkaasti. Tämä teknologia mahdollistaa mm. kaupalliset kuluttajaso-

vellukset. Tulevaisuudessa kehitystä tapahtuu erityisesti usean robotin yhteistyössä liikkumisen sekä useasta tietolähteestä muodostettujen karttojen yhdistämisen aluilla. (Robotiikan taustaselvityksiä 2016.)

Robottien älykkyyden voimakas kehitys näkyy tekoälyssä ja koneoppimisessa. Robottien älykkyyden kehitystä nähdään pitkäaikaisessa oppimisessa, tiedon jakamisen ja yhdistämisen mahdollistavissa arkkitehtuurissa, ihmisiltä ja toisilta roboteilta oppimisessa, luonnollisen kielen käytössä oppimiseen sekä toiminnan, suunnittelun ja oppimisen yhdistämisessä. (Robotiikan taustaselvityksiä 2016.)

Teollisuusrobotiikassa tärkeimmät viimeaikaiset läpimurrot ovat tapahtuneet voimaohjauksen ja käyttöliittymien kehittämisessä. Voimaohjauksen ja -anturoinnin kehitys mahdollistaa ihmisen ja robotin työskentelyn samassa tilassa turvallisesti rajoitetulla liikenopeudella. Sama kehitys muuttaa robottien käyttöliittymää siten, että ihminen ohjelmoi robotteja näytämällä tai opettamalla perinteisen ohjelmoinnin sijaan. (Robotiikan taustaselvityksiä 2016.)

Näiden kehityskaarien avulla voidaan olettaa lisäävän paljon uusia mahdollisuuksia. Yhteenvedona voidaan sanoa, että ihmisen ja robotin yhteistyö tulee lisääntymään tulevaisuudessa sekä useiden robottien yhteistyö ja robottien työskentely ympäristöolosuhteista riippumatta niiden älykkyyden kehittyessä. (Robotiikan taustaselvityksiä 2016.)

9 YHTENEVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä konepaja-automaation mahdollisuuksien esittelyyn ja tarjota robotiikan tuomia mahdollisuuksia sekä kehityskohteita Komat Oy:lle. Uutta tietoa saatiin automaation ja robotiikan vaikutuksista kappaletavara-automaatioon sekä robotin investointiin liittyvistä hankinta- ja ylläpitokustannuksista.

Hyvin suunniteltu ja toteutettu robotisointi on erinomainen vaihtoehto tuotannon automatisointiin. Monesti robotisointi on ainoa investointivaihtoehto varsinkin pitkissä sarjatuotannoissa ja raskaissa kappaleiden siirroissa sekä nostoissa. Nykypäivän konepajateollisuuden ainoa vaihtoehto on uusiutua ja automatisoitua maailmalla kiristyvässä kilpailussa. Suomen robottihankinnat ovat lähteneet laskuun 2010-luvun taitteessa. Robotin investoinneissa ongelmana ei ole tekniikka, hinta tai laitteet vaan kannattavan investoinnin edellyttämä tietotaito. Jos Suomi aikoo pysyä robotisoinneissa maailman kärjen mukana, täytyy koulutukseen myös panostaa ettei osaajat katoa ulkomaille.

Kun suunnitellaan kokonaista robottiprojektia, täytyy ottaa huomioon useampia asioita kuin tavallisessa konehankinnassa. Robottijärjestelmä on lähes poikkeuksetta sovelluksen mukaan suunniteltu kokonaisuus. Pelkän uuden robotin hankinnassa olemassa olevaan soluun, riittää tiedoksi robotin koko ja ulottuvuus mahdollisen solu muutoksen takia. Kuitenkin kokonaisuuden hallinta projektin aikana on erittäin tärkeää niin järjestelmän toimivuuden kuin aikataulun ja kustannusten pitämisen suhteen.

Tämän työn aikana jäysteenpoistosolun robotin uusiminen tulee toteutumaan, sillä vanha robotti on elinkaarensa päässä eikä varaosia ole enää tarjolla. Toteutuessaan vastuu toimivista robottisovelluksista on järjestelmien toimittajilla ja käyttäjillä. Paras lopputulos saavutetaan yhdistämällä käyttäjien tietotaito ja robottitoimittajien asiantuntemus järjestelmästä.

LÄHTEET

Aaltonen, K., Airila, M., Andersin, H., Ekman, K., Kauppinen, V., Liukko, T. & Pohjola, P. (1992). Tuotantoautomaatio. Otaniemi: Otatieto.

ABB Robotics. (2017). Teollisuusrobotit. Haettu 18.3.2017 osoitteesta <http://www.abb.com/products/robotics/teollisuusrobotit>

Billing, M. (2012). *Oppimisympäristö robotiikan ja etäohjelmoinnin opetukseen*. Diplomityö. Konetekniikan koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaistu 5.2.2012. Haettu 22.2.2016 osoitteesta <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/21003>

Finnrobotics Oy. (2009). Nachin robotti valikoima uudistuu. Julkaistu 10/2009. Kuva 2. haettu 8.4.2017 osoitteesta <http://www.finnrobotics.fi/2009/10>

Huuki, J. (2016). Tuotantoautomaatio ja kunnossapito. Aalto yliopisto. Julkaistu 17.3.2016. Haettu 29.3.2017 osoitteesta <http://mycourses.aalto.fi>

Jokelainen, J. (2012.) Robotiikka 1. Kurssimateriaali. Metropolia ammattikorkeakoulu. Materiaali ei ole saatavilla julkisesti.

Katainen, T. (2016). *Suomen konepaja- ja metalliteollisuuden tulevaisuus*. Diplomityö. Kemiantekniikan korkeakoulu. Aalto yliopisto. Julkaistu 13.12.2016. Haettu 23.2.2017 osoitteesta <http://aaltodoc.aalto.fi>

Komas Oy. (2017). Toimeksiantajanesittely. Haettu 8.4.2017 osoitteesta <http://www.komas.fi/mikä> on komas?

Konekuriiri. (2017). Täysautomatoitu tuotantosolu kokonaistoimituksena. Julkaistu 20.1.2017. Kuva 4. haettu 8.4.2017. osoitteesta <http://www.konekuriir.fi/uutiset/taysautomatoitu-tuotantosolu-kokonaistoimituksena>

Kotiranta, L. (2012). *FMS-järjestelmän optimointi*. Opinnäytetyö. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Haettu 6.2.2017 osoitteesta <http://theseus.fi/handle/10024/41394>

Kuivanen, R. (1999). Robotiikka. Suomen robotiikkayhdistys ry. Vantaa: Tummavuoren kirjapaino Oy.

Lempiäinen, J. (2015). Automaatioväylä. Suomen robotiikkayhdistys ry. Deltatron Oy. Julkaisu 3/2015.

Maaranen, K. (2012). Koneistus. Helsinki: Sanoma pro Oy.

Promaintlehti (2015). Fastems rokkaa kattavasti. Haettu 22.2.2017 osoiteesta <http://promaint.fi/tuotantotehokkuuden> kehittäminen

Ristikaarto, P. (2011). Tuotantoautomaatio. Avoin luento. Oulun ammattikorkeakoulu. Haettu 22.2.2017 osoitteesta <http://oamk.fi/tuotantoautomaatio/kappaletavatuotannon>

Robotiikka (2008). Kurssimateriaali. Metropolia ammattikorkeakoulu. Materiaali ei ole saatavilla julkisesti.

Robotiikka (2014). Kurssimateriaali. Metropolia ammattikorkeakoulu. Materiaali ei ole saatavilla julkisesti.

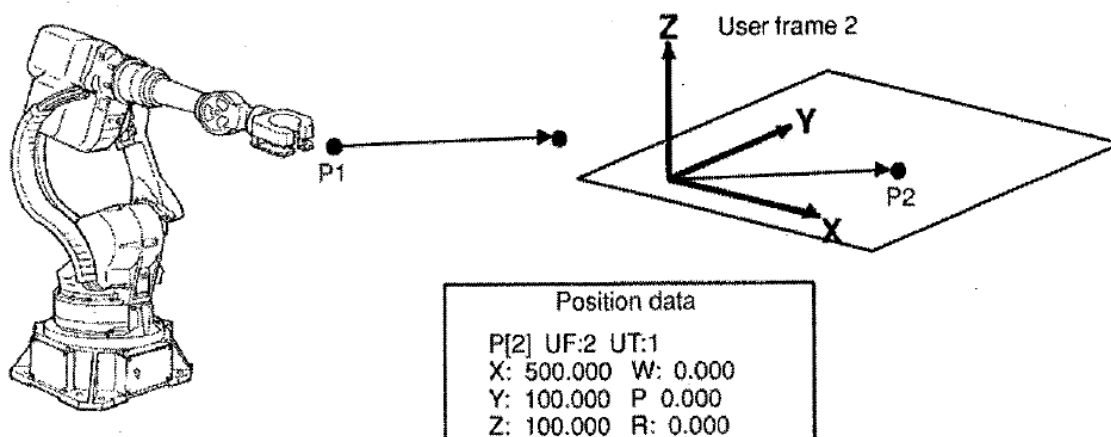
Robotiikan taustaselvityksiä (2016). Liikenne- ja viestintäministeriö. Julkaistu 2/2016. Haettu 6.3.2017 osoitteesta <http://lvm.fi/documents/20181>

Tuunanen, T. (2014). *Teollisuusrobotin käyttöönotto ja ohjelmointi*. Opinnäytetyö. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Haettu 2.1.2017 osoitteesta <http://theseus.fi/handle/10024/75698>

ESIMERKKIOHJELMA

Esimerkkiohjelma on varsin yksinkertainen harjoitus nimeltään neliö:

Ohjelmassa on käytetty incremental-liikekäskyjä. Incremental-liikekäsky lisätään viemällä kursori jo esimerkiksi olemassa olevan liikekäskyn loppuun ja valitsemalla CHOICE > INCREMENTAL.



Kuva 40. Incremental-liikekäsky

Liikkeen suunta ja pituus määritellään liikekäskyn asematietoon viemällä kursori asematiedon numeron kohdalle ja valitsemalla position. Ohjelma voidaan tarkistaa viemällä kursorin positionumeron kohdalle ja valitsemalla POSITIO. Siitä voidaan päätellä miten robotti piirtää neliön ja mihin alkupiste tulee asettaa.

Ohjelman testaus aloitetaan viemällä robotti esimerkiksi paperin pintaan neliön alkupisteeseen. Tämän jälkeen tallennetaan robotin alkupiste (SHIFT+TOUCHUP) toiminnolla. Alkupisteestä lähtien robotti piirtää neliön paperille.

Esimerkkiohjelma:

```

1:   J P[1] 30% FINE
2:   L P[2] 100mm/sec FINE
3:   L P[3] 200mm/sec FINE INC
4:   L P[4] 200mm/sec FINE INC
5:   L P[5] 200mm/sec FINE INC
6:   L P[6] 200mm/sec FINE INC
7:   L P[1] 100mm/sec FINE
[END]

```


ROBOTIN KINEMATIIKKALASKENTAA

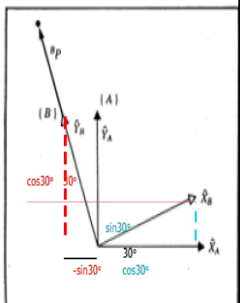
Kinematiikalla tarkoitetaan laskentaa, jolla muutetaan korkeatason kuvaukset perustasolle (vapausasteiden asemiksi). Tavoitteena on kuvata ilmaistut robotin asema- ja asennotiedot vastaavina vapausasteiden asemina ja kääntäen. Tämä mahdollistaa robotin käyttäjälle ja ohjelmoijalle helpommat mahdollisuudet robotin liikkeen kuvaamiseen. Kinemaattiset laskut perustuvat koordinaatiston muutoksiin, joilla kuvataan siirtyminen robotin niveliin sijoitetuista koordinaatistoista toisiin aina tarttujaan asti.

Esimerkkilasku:

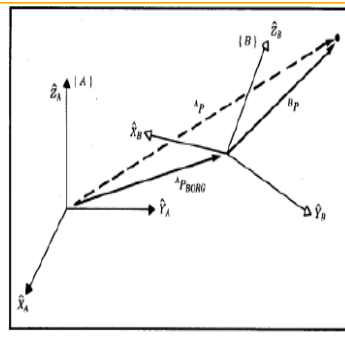
Kinematiikka

- Esimerkki:
 - $\{B\}$ on kiertynyt $\{A\}$:n suhteen 30° Z:n ympäri
 - Jos ${}^B p = [0.0 \ 2.0 \ 0.0]^T$
 - Laske ${}^A p$
- Kirjoittamalla $\{B\}$:n yksikkövektorit $\{A\}$:n avulla kiertomatriisiin sarakkeiksi saadaan:

$${}^A R = \begin{bmatrix} 0,866 & -0,500 & 0,000 \\ 0,500 & 0,866 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 1,000 \end{bmatrix}$$
- ${}^A p = {}^A R {}^B p = [-1.000 \ 1.732 \ 0.000]^T$



Kinematiikka

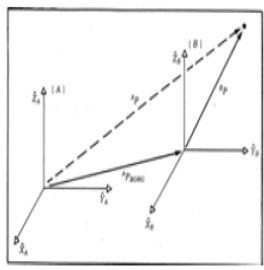


- Koordinaatiston $\{B\}$ origo on siirtynyt $\{A\}$:n suhteen ${}^A p_{BORG}$ verran
- $\{B\}$:n kiertö $\{A\}$:n suhteen on ${}^A R$
- Tunnetaan ${}^B p$
- Halutaan laskea ${}^A p$

Kuva 41. Robotin kinematiikkaa

Kuvassa 41. nähdään, että robotin työkalukoordinaatisto voidaan kuvata robotin peruskoordinaatistosta tai maailmakoordinaatistosta, siirrosvektorin ja kiertomatriisin avulla. Robotiikassa joudutaan usein kuvaamaan sama piste eri koordinaatistojen suhteen.

Kinematiikka



- Koordinaatistot $\{A\}$ ja $\{B\}$ ovat samassa orientaatiassa
- ${}^A p_{BORG}$ on siirrosvektori, joka määrittelee $\{B\}$:n origon paikan $\{A\}$:n suhteen
- ${}^A p = {}^B p + {}^A p_{BORG}$
- Eri koordinaatistoissa olevat vektorit voidaan laskea yhteen vain, kun $\{A\} \parallel \{B\}$

Kinematiikka

- Jos $\{A\}$ ja $\{B\}$ ovat kaksi suorakulmaista koordinaatistoa, joiden origot ovat samassa pisteessä ja $\{B\}$:n asento $\{A\}$:n suhteen on annettu kiertomatriisin ${}^A R$ avulla, voidaan $\{B\}$:ssä tunnettu piste ${}^B p$ (vektori) laskea $\{A\}$:n suhteen
 - ${}^A p$:n komponentit ovat sen projisiot $\{A\}$:n yksikkövektoreiden suunnille ja ne voidaan laskea vektoreiden pistetulona eli ${}^A p$:n komponentit ovat:

$$\begin{aligned} {}^A p_x &= {}^B \hat{x}_A \cdot {}^B p \\ {}^A p_y &= {}^B \hat{y}_A \cdot {}^B p \\ {}^A p_z &= {}^B \hat{z}_A \cdot {}^B p \end{aligned}$$
- Eli kiertomatriisin avulla: $p = {}^A R {}^B p$

